

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Elektroenergetiky

Rušivé vlivy venkovních osvětlovacích soustav

Disturbance effects of outdoor lighting systems

Zadání bakalářské práce

Student:

David Wolny

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Rušivé vlivy venkovních osvětlovacích soustav
Disturbance effects of outdoor lighting systems

Zásady pro vypracování:

1. Světelné zdroje a svítidla pro venkovní osvětlovací soustavy
2. Rozbor venkovních osvětlovacích soustav
3. Rozbor potenciálních rušivých účinků venkovních osvětlovacích soustav
4. Měření rušivých účinků venkovních osvětlovacích soustav
5. Vyhodnocení naměřených dat

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Plch, J.: Světelná technika v praxi. IN-EL spol. s r.o., Praha 1999,
- [2] Habel, J.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995,
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení Studenta:

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne

Podpis

Poděkování:

Rád bych poděkoval prof. Ing. Karlu Sokanskému, CSc. a Ing. Tomáši Novákovi za odbornou pomoc, připomínky a cenné rady při realizaci této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Františku Dostálovi za poskytnutí materiálů a Ing. Petru Zavadovi za pomoc při řešení praktické části bakalářské práce.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou rušivých vlivů venkovních osvětlovacích soustav. První část je věnovaná vlastnostem a parametrům světelných zdrojů a svítidlům pro venkovní osvětlovací soustavy. Další kapitola je zaměřena na rozbor venkovních osvětlovacích soustav, hlavně pak na návrh a rozmístění svítidel veřejného osvětlení. Následovně jsou v této práci popsány rušivé účinky venkovních osvětlovacích soustav, kde je zvláště pozornost věnována energetickým ztrátám do atmosféry způsobující závojevý jas oblohy. Praktická část se zabývá měřením a vyhodnocením rušivých účinků osvětlovacích soustav, zaměřených na světelný přesah, způsobený přilehlými svítidly. V příloze je uveden návrh vnitřního osvětlení místnosti pro zjištění udržované osvětlenosti okna a následného výpočtu energetických ztrát okna do horního poloprostoru.

Klíčová slova:

Světelný zdroj, svítidlo, veřejné osvětlení, rušivé světlo, závojevý jas oblohy, energetické ztráty

Abstract:

This bachelor thesis deals with the problems relating to disturbing effects of outdoor lighting systems. The first part of this paper addresses properties and parameters of different lighting sources and goes on to describe illuminants for outdoor lighting systems. The next chapter is focused on outdoor lighting system analysis, particularly on the design of lamps for public lighting and their distribution. After that, the disturbing effects of outdoor lighting systems are described here, most importantly energy losses into the atmosphere causing the sky glow. The practical part deals with measuring and evaluation of lighting systems' disturbing effects, especially the spill light, caused by adjacent sources of light. A design of indoor illumination in a room is given in the supplement of my thesis, the design is to detect sustentative illuminance of a window and subsequent calculation of energy losses from the window into the upper half-space.

Key word:

Lamp, luminaire, public lighting, obtrusive light, sky glow, energy losses

Obsah:

1	Úvod.....	1
2	<i>Světelné zdroje a svítidla pro venkovní osvětlovací soustavy.....</i>	2
2.1	Světelné zdroje pro venkovní osvětlení	2
2.1.1	Základní parametry světelných zdrojů	2
2.1.2	Teplotní zdroje.....	3
2.1.3	Výbojové světelné zdroje	4
2.1.4	Světelné diody	9
2.2	Svítidla pro venkovní osvětlení.....	10
2.2.1	Světelné technické parametry svítidel.....	10
2.2.2	Konstrukční prvky svítidel	12
2.2.3	Třídění svítidel.....	13
2.2.4	Další vlastnosti svítidel	14
2.2.5	Volba optimální varianty svítidel.....	15
3	<i>Rozbor venkovních osvětlovacích soustav.....</i>	16
3.1	Základní požadavky na návrh venkovního osvětlení.....	16
3.2	Návrh osvětlovacích soustav venkovního osvětlení.....	16
3.3	Druhy osvětlovacích soustav.....	16
3.4	Volba světelného zdroje pro venkovní osvětlení	17
3.5	Volba svítidla	17
3.6	Veřejné osvětlení.....	17
3.6.1	Členění osvětlení.....	17
3.6.2	Základní prvky veřejného osvětlení	18
3.7	Návrh veřejného osvětlení	18
3.7.1	Postup pro odvození požadavků na osvětlení:	18
3.7.2	Řady tříd osvětlení podle normy ČSN EN 13201-2.....	20
3.8	Geometrie osvětlovací soustavy	20
3.9	Rozmístění svítidel veřejného osvětlení.....	20
3.9.1	Osová osvětlovací soustava veřejného osvětlení	21
3.9.2	Jednostranná osvětlovací soustava veřejného osvětlení	21
3.9.3	Oboustranná osvětlovací soustava veřejného osvětlení	22
3.9.4	Osvětlovací soustava veřejného osvětlení na směrově rozdělené komunikaci.....	23

3.9.5	Osvětlení úrovnové křižovatky	23
3.9.6	Osvětlení přechodů pro chodce.....	24
4	<i>Rozbor potenciálních rušivých účinků venkovních osvětlovacích soustav.....</i>	25
4.1	Rušivé světlo	25
4.1.1	Závojevý jas oblohy.....	26
4.1.2	Oslnivé světlo – oslnění	26
4.1.3	Světelný přesah.....	27
4.2	Zdroje rušivého světla	27
4.3	Základní pojmy a výpočty rušivých účinků venkovních osvětlovacích soustav	28
4.4	Vztah mezi jasnem oblohy a rozlohou města	30
4.5	Ztráty energie následkem rušivého světla.....	32
4.5.1	Výpočet ceny elektrické energie vyzářené do atmosféry	33
4.5.2	Energetické ztráty okna	34
4.6	Hodnocení projevů rušivého světla	37
4.6.1	Hodnocení závojevého jasů oblohy	37
4.6.2	Hodnocení oslnění ve venkovním osvětlení	38
4.6.3	Hodnocení světelného přesahu	39
4.7	Mezinárodní doporučení	40
4.8	Prostředky omezující projevy rušivého světla	42
4.8.1	Správný návrh, provoz a údržba osvětlovací soustavy.....	42
4.8.2	Vypínání a regulace osvětlovacích soustav	42
4.8.3	Doporučená instalace a nasměrování svítidel	44
4.8.4	Optické vlastnosti daného prostoru.....	45
5	<i>Měření rušivých účinků venkovních osvětlovacích soustav.....</i>	46
6	<i>Vyhodnocení naměřených dat</i>	50
7	<i>Závěr</i>	52

Seznam použitých zkratk a symbolů:

Φ	[lm]	světelný tok
Φ_a	[lm]	pohlčený světelný tok
Φ_ρ	[lm]	odražený světelný tok
Φ_τ	[lm]	propuštěný světelný tok
Φ_{SV}	[lm]	světelný tok svítidla
Φ_{ULR}	[lm]	přímý světelný tok vyzářený nahoru
Φ_{UPF}	[lm]	celkový světelný tok vyzářený nahoru
Φ_Z	[lm]	světelný tok zdroje
Φ_{ZTR}	[lm]	světelný tok ztracený
λ	[nm]	vlnová délka
δ	[°]	úhel clonění
η_{SV}	[-]	účinnost svítidla
η_V	[lm·W ⁻¹]	měrný světelný výkon
ρ	[-]	činitel odrazu
τ	[-]	činitel prostupu
A	[m ²]	plocha
d	[m]	vzdálenost
E	[lx]	osvětlenost
E_m	[lx]	udržovaná osvětlenost
E_v	[lx]	vertikální osvětlenost
GR	[cd·m ⁻²]	činitel oslnění
I	[cd]	svítivost
I_{max}	[cd]	maximální svítivost
$I_{stř}$	[cd]	střední svítivost
K	[-]	kontrast jasů
K_F	[-]	činitel tvaru křivky
K_r	[%]	stupeň oslnění
L_γ	[cd·m ⁻²]	jas svítidla
L_a	[cd·m ⁻²]	jas kritického detailu
L_b	[cd·m ⁻²]	jas bezprostředního okolí
L_v	[cd·m ⁻²]	ekvivalentní závojevý jas
L_p	[cd·m ⁻²]	průměrný jas povrchu vozovky
M	[lm·m ⁻²]	světlení
P	[W]	elektrický příkon
R_a	[-]	index podání barev

S	[m ²]	obsah
u	[%]	činitel využití
T	[hodina]	doba života světelného zdroje
TI	[%]	prahový přírůstek
W _{ULR}	[kWh]	přímá složka elektrické energie vyzářené nahoru
W _{UPF}	[kWh]	celková elektrická energie vyzářená nahoru
ČR		Česká republika
DLR		světelný tok vyzařovaný do dolního poloprostoru
DMSP		Satelitní systém (Defense Metereological Satellite Program)
€		Euro
IK		stupeň mechanické odolnosti
IP		krytí světelně činné části
IR		infračervené záření
K		konstanta
n		počet svítidel
P		počet obyvatel
PN		polovodičový přechod
ULR		světelný tok vyzařovaný do horního poloprostoru
UPF		maximální světelný tok v horním poloprostoru
UR		ultrafialové záření
US \$		Americký dolar
VO		veřejné osvětlení

1 Úvod

Světlo je jeden z nejdůležitějších faktorů zdravého životního prostředí. Psychika, nervový systém a duševní pohoda mohou být značně ovlivněny nedostatkem světla. Značný podíl na bezpečnosti a efektivitě práce má rovněž světlo, proto jsou vynakládány nemalé finanční prostředky na kvalitu osvětlení.

Světlo je elektromagnetické vlnění, na které je citlivý lidský zrakový orgán - oko. Viditelné světlo se nachází v rozmezí vlnových délek $\lambda = 380 \div 780 \text{ nm}$. V oblasti vlnových délek před viditelným světlem se nachází ultrafialové světlo (UV) a v oblasti delších vlnových délek sousedí s viditelným světlem infračervené záření (IR). Barva světla je charakterizována různými frekvencemi světla, které u člověka vyvolávají různé vjemy.

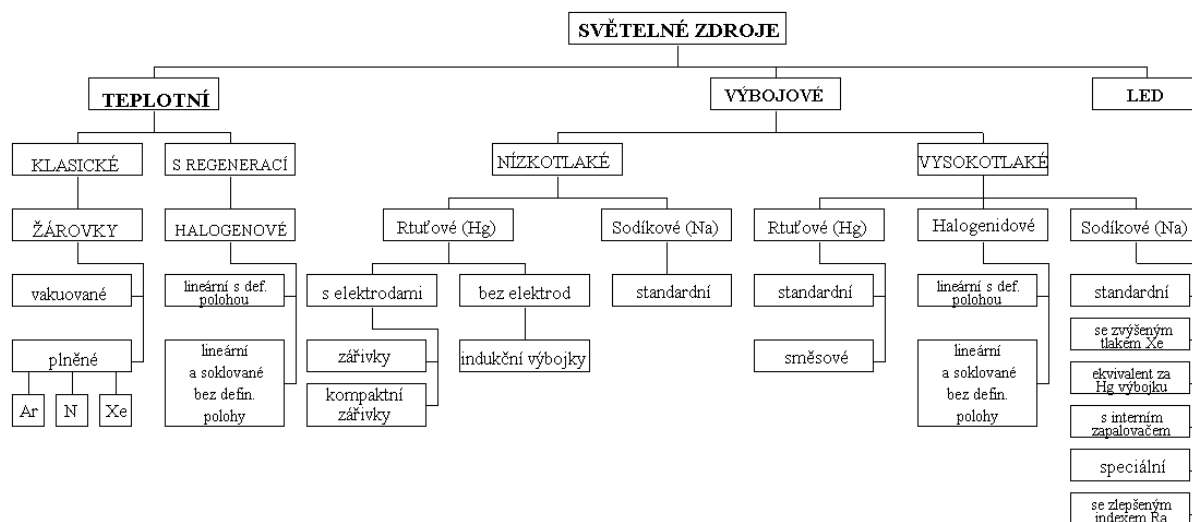
Zdrojem elektromagnetického záření ve viditelné oblasti je světelný zdroj, který je hlavní součástí každého svítidla. Světelné zdroje se rozdělují na více druhů podle typu závitu, velikosti, výkonu, tvaru, barvy svícení atd. Mezi základní světelné zdroje patří teplotní, výbojové a světelné zdroje na bázi LED diod. V současnosti jsou ve veřejném osvětlení nejvíce používány výbojové zdroje, ale do budoucna lze počítat s masovým nasazováním LED diod do veřejného osvětlení, díky jejich užitečným vlastnostem.

Veřejné osvětlení (dále VO) je osvětlení silnic, křižovatek, ulic, přechodů pro chodce, veřejných prostranství, atd. Jeho hlavním cílem je přisvětlit ve večerních a nočních hodinách daný prostor dle stanovených předpisů. VO musí splňovat několik požadavků. Především jsou to požadavky **bezpečnostní**, které mají za následek nejen snížení nehodovosti, ale i kriminality. Dalším požadavkem VO je zajištění **orientace** v prostoru jak chodců na chodníku, komunikaci, parku a jiných prostranství, tak řidičů projíždějících obcí, městem, nebo krajinou. V neposlední řadě je rovněž důležitým požadavkem **estetický vzhled** soustavy svítidel VO, který vytváří celkový dojem města, či obce nejen v noci, ale i za denního světla.

2 Světelné zdroje a svítidla pro venkovní osvětlovací soustavy

2.1 Světelné zdroje pro venkovní osvětlení

Mezi základní světelné zdroje patří teplotní, výbojové a světelné zdroje na bázi LED diod, které by se měly podle předpokladu v budoucnu dále členit.



Obr. 1 Schématické rozdělení světelných zdrojů [1]

2.1.1 Základní parametry světelných zdrojů

Mezi nejdůležitější parametry světelných zdrojů patří měrný světelný výkon, doba života, index podání barev, možnost stmívání a rozměry.

Rozdělení parametrů světelných zdrojů na kvantitativní a kvalitativní:

- Do oblasti kvantitativních parametrů důležitých zejména pro uživatele a projektanty, spadá světelný tok Φ (lm), elektrický příkon P (W) a měrný světelný výkon η_v ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$).
- Kvalita světelných zdrojů je posuzována podle doby života T (hodina), indexu podání barev R_a (-) a podle světelně - technických parametrů.

Dále jsou světelné zdroje posuzovány podle jejich vlastností, kterými jsou tvar, rozměry, hmotnost, distribuce a možnost upravovat světelný tok.

Světelný tok Φ [lm]

Světelný tok (světelný výkon) udává kolik světla je vyzařeno světelným zdrojem do všech směrů.

Měrný světelný výkon η_v [$\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$]

Udává účinnost přeměny elektrické energie na světlo ve zdroji světla.

$$\eta_v = \frac{\Phi}{P} \quad [\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}; \text{lm}; \text{W}]$$

Φ ... světelný tok

P ... elektrický příkon

Doba života světelného zdroje T [hodina]

Udává dobu funkčnosti světelného zdroje, po kterou zdroj stále splňuje všechny stanovené požadavky.

Index podání barev R_a [-]

Udává věrohodnost podání barev světelným tokem zdroje v rozsahu 0 až 100. Pro $R_a = 0$ nedochází k rozeznání barev, jelikož světelný zdroj vyzařuje světelný tok pouze na jedné vlnové délce a neobsahuje tedy spektrum barev. Při $R_a = 100$ jsou barvy rozeznávány věrně jako denní světlo. Index podání barev je uspokojivý při $R_a > 40$ a dobrý při $R_a > 80$.

2.1.2 Teplotní zdroje

2.1.2.1 Žárovka

Je nejpopulárnějším světelným zdrojem a to díky jednoduchosti a nízké ceně. Nevýhodou je krátká doba života (přibližně 1000h) a malá účinnost přeměny elektrické energie na světlo. Měrný výkon žárovek se pohybuje okolo $10 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Mají vysoký index barevného podání $R_a = 100$ a jsou stále oblíbené a hojně využívané hlavně v domácnostech, ale i ve společenských prostorách, nebo reklamách. Ve veřejných osvětleních se už prakticky nepoužívají s výjimkou Vánočních dekorací na veřejném osvětlení. Bývají nahrazovány halogenovými žárovkami, kompaktními zářivkami, výbojkami malých příkonů, nebo LED diodami.

2.1.2.2 Halogenové žárovky

Halogenové žárovky mají oproti klasickým žárovkám asi 2x delší dobu života, tedy kolem 2000 hodin. Tyto žárovky vyzařují příjemné svěží, bílé světlo a proto se užívají především pro osvětlování kanceláří a bytů. Index barevného podání světla halogenových žárovek je $R_a = 100$. Jejich měrný výkon je cca $22 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Ale i halogenové žárovky jsou postupně nahrazovány spolu s obyčejnými žárovkami.

2.1.3 Výbojové světelné zdroje

Výbojové světelné zdroje jsou nejpoužívanějšími světelnými zdroji pro venkovní osvětlení. Konkrétně výbojky se používají hlavně pro svůj světelný výkon k osvětlování komunikací, architektonických a památných budov, sportovišť apod. Jejich nevýhodou je nižší index podání barev R_a . Zato zářivky se vyznačují poměrně vysokým indexem podání barev a úsporou elektrické energie. Ovšem pro jejich teplotní závislost a nižší měrný výkon oproti výbojkám se používají na osvětlení méně důležitých míst.

2.1.3.1 Lineární zářivky

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky vyzařující především v oblasti ultrafialového záření. K přeměně neviditelného ultrafialového záření ve viditelné světlo dochází pomocí luminoforu, obsaženého na vnitřním povrchu skleněné trubice. Barvu světla zářivky je možné měnit typem luminoforu. Stejně jako výbojky se zářivky neobejdou bez předřadných přístrojů, jako je startér nebo elektronický předřadník.

Doba života zářivek je závislá na četnosti zapínání a vypínání. Nepoužívají se tedy v místech, které jsou potřeba osvětlit jen krátkodobě. Doba života lze prodloužit použitím elektronického předřadníku místo klasického. Život zářivky s klasickým předřadníkem se pohybuje okolo 10 000 hodin, ale s použitím elektronického předřadníku se prodlouží doba života až na 18 000 hodin.

Zářivky se používají k osvětlování méně důležitých míst, např. krytých nástupišť, zastávek MHD atd. Nevýhodou těchto světelných zdrojů je jejich závislost na teplotě, kdy při teplotách pod bodem mrazu je hodnota vyzařovaného světelného toku velmi nízká. Proto se nehodí pro osvětlování míst, kde se teplota vzduchu pohybuje pod bodem mrazu. Další nevýhodou je dosažení jmenovité hodnoty světelného toku po cca 2 minutách provozu.



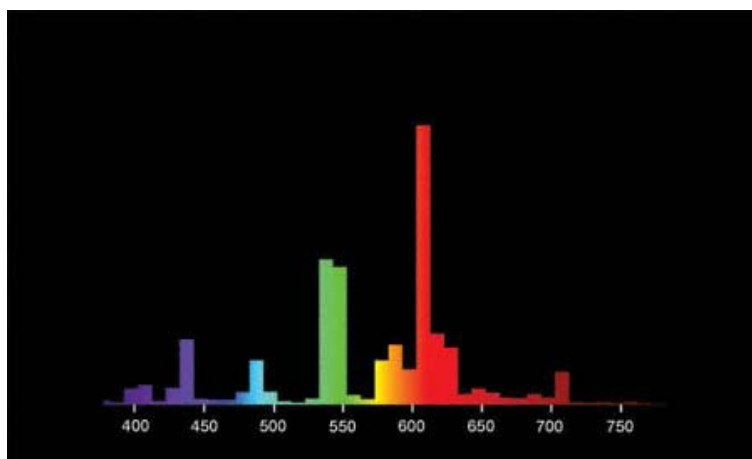
Obr. 2 Lineární zářivka [4]

2.1.3.2 Kompaktní zářivky

Kompaktní zářivky jsou náhradou klasických a halogenových žárovek. Jejich výhodou je především:

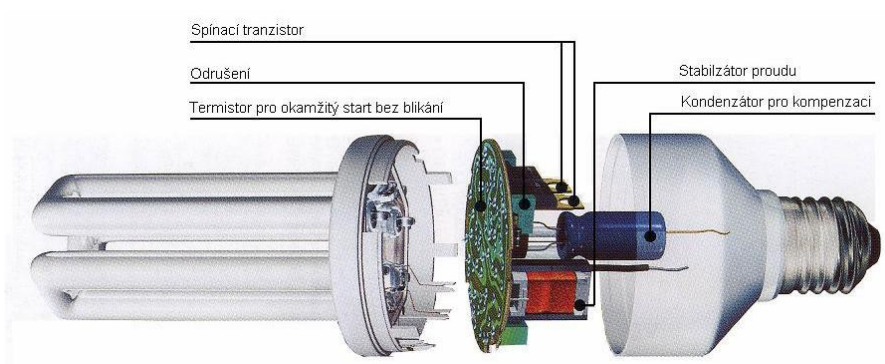
- vysoký index podání barev,
- estetický vzhled,
- výrazná úspora elektrické energie ve srovnání s klasickou žárovkou,
- výrazně vyšší doba technického života oproti klasickým žárovkám.

Tyto zářivky jsou vhodné pro osvětlování zastávek, pěších zón apod. Ovšem pro osvětlení důležitějších komunikací nejsou vhodné, jelikož nezajišťují dostatečné osvětlení. Nevýhodou těchto zářivek je rovněž závislost světelného toku na teplotě a rychlost jejich startu. Zatímco žárovky nabíhají na jmenovitý světelný tok téměř okamžitě, kompaktní zářivky ihned po připojení napájecího napětí naběhnou pouze na cca 50 % světelného toku. Kompaktní zářivky mají nejen menší spotřebu elektrické energie, než obyčejné žárovky, ale i jejich měrný výkon je asi pětinašobně vyšší a doba života se pohybuje kolem 15 000 hodin.



Obr. 3 Kompaktní zářivka se spektrální charakteristikou [2]

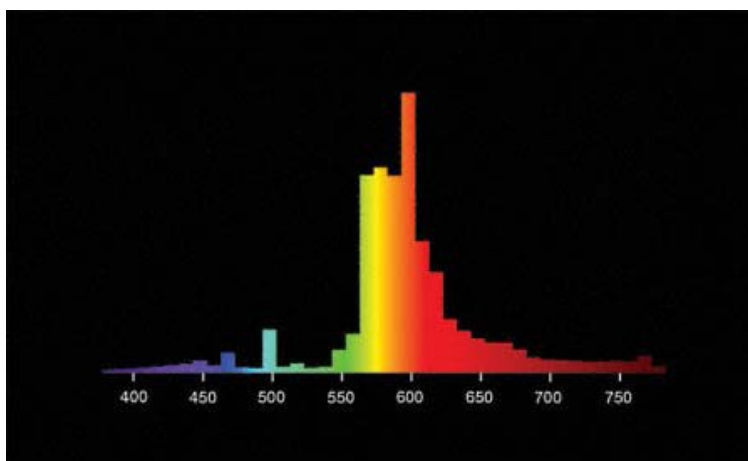
Při realizaci kompaktních zářivek s elektronickým předřadníkem je zamezeno kmitání světelného toku a blikání při okamžitém startu. Použití elektronického předřadníku rovněž prodlužuje dobu života zářivky a zvyšuje odolnost proti častému spínání.



Obr. 4 Složení kompaktní zářivky s elektronickým předřadníkem [1]

2.1.3.3 Vysokotlaké sodíkové výbojky

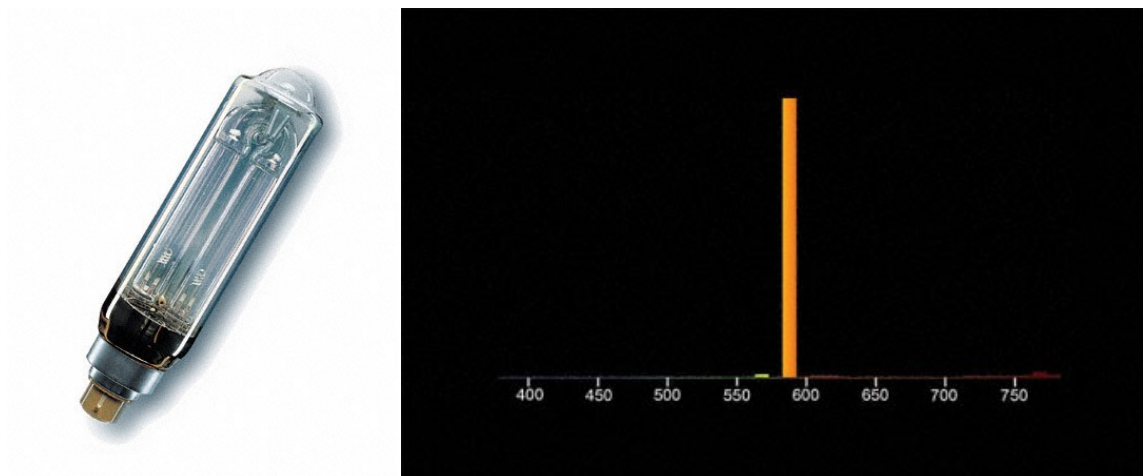
Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou nejpoužívanějšími výbojkami ve VO. Používají se prakticky ve všech oblastech venkovního a veřejného osvětlení, ale i k osvětlování pěších zón a budov. Jsou charakteristické vyzařováním žluté až oranžové barvy. Jejich podíl ve veřejném osvětlení stále narůstá především díky úspoře elektrické energie, vysokému měrnému výkonu až $150 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ a dlouhému životu. Při dodržování provozních podmínek se pohybuje doba života těchto výbojek v rozmezí 16 000 až 36 000 hodin. Jejich nevýhodou je právě barva vyzařovaného světla, při které je index podání barev $R_a = 25$.



Obr. 5 Vysokotlaká sodíková výbojka se spektrální charakteristikou [2]

2.1.3.4 Nízkotlaké sodíkové výbojky

Nízkotlaké sodíkové výbojky se vyznačují především vysokým měrným výkonem, který se pohybuje v rozmezí 130 až $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Tyto výbojky dosahují délky života až $24\,000$ hodin. Jejich základním nedostatkem je nulový index podání barev ($R_a = 0$). Vzhledem k monochromatickosti jejich vyzařování mají omezené používání, protože v jejich světle nelze rozlišovat barvy. Používají se např. k osvětlení výpadevých silnic a dálnic. V naší republice se až na výjimky vůbec nevyužívají.

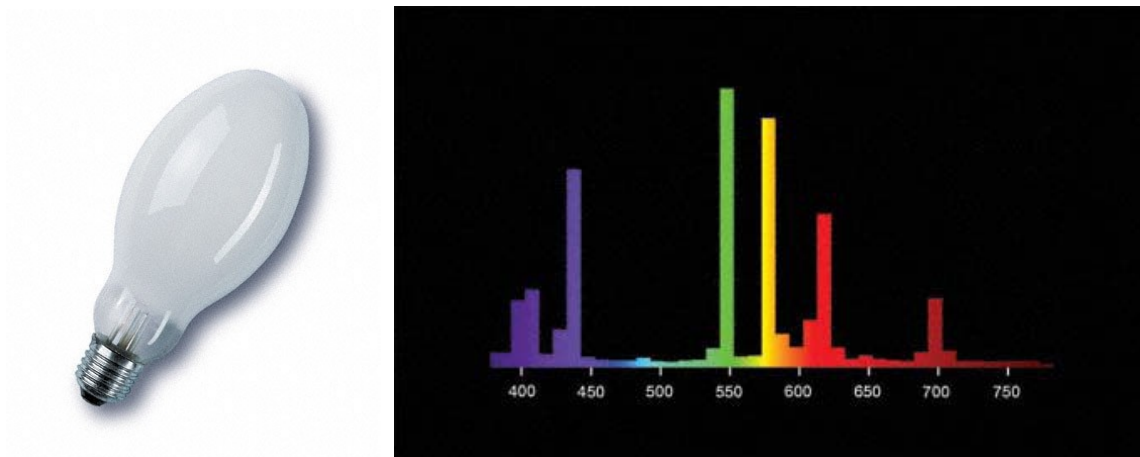


Obr. 6 Nízkotlaká sodíková výbojka se spektrální charakteristikou [2]

2.1.3.5 Vysokotlaké rtuťové výbojky

Tento typ výbojek se ve veřejném osvětlení přestává používat. Jejich základním nedostatkem je nízký měrný výkon pohybující se od 50 do $80 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Další nevýhodou je ustálení výboje až po $3 - 5$ minutách. Výhodou vysokotlakých rtuťových výbojek je odolnost proti otřesům a změnám teploty, menší poruchovost a malý pokles světelného toku během technického života. Jejich doba života se pohybuje od $12\,000$ do $15\,000$ hodin a index barevného podání $R_a = 50$. Využití tyto zdroje naleznou v osvětlování pěších zón, parků, parkovacích a příjezdových ploch nákupních center.

Přestože jejich počet stále klesá, měly by se stále používat z důvodu jejich nízké ceny. Ovšem do budoucna nemají žádný potenciál využití. Postupně jsou nahrazovány halogenidovými a zejména vysokotlakými sodíkovými výbojkami.



Obr. 7 Vysokotlaká rtuťová výbojka se spektrální charakteristikou [2]

2.1.3.6 Halogenidové výbojky

Tento typ výbojek se vyznačuje především vysokým indexem podání barev $R_a = 90$ a měrným výkonem dosahujícím $130 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Využití nacházejí v místech osvětlení s vysokými nároky na barevné podání. Používají se k osvětlení center měst, sportovišť, velkých prostranství, architektonických budov a k osvětlení důležitých míst jako jsou přechody pro chodce nebo křižovatky.

Masivnímu nasazování do systému veřejného osvětlení zabraňuje spousta nevýhod, kterými tyto výbojky disponují. V první řadě jsou to pořizovací náklady na osvětlení soustavy. Vzhledem k jejich náročné výrobě jsou přibližně 4x dražší, než vysokotlaké sodíkové výbojky. Dalšími nevýhodami je pomalý náběh na 100% světelného toku o délce trvání cca 4 min, doba života až 15 000 hod a nemožnost stmívání nebo samozápalu teplé výbojky.



Obr. 8 Halogenidová výbojka [2]

2.1.4 Světelné diody

Světelné diody, označovány taky jako LED diody jsou elektronické prvky generující monochromatické světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem. Jejich vývoj postupuje stále kupředu. Postupně dochází ke zvyšování jejich světelného toku. Ve veřejném osvětlení se zatím používají spíše k dekorativním účelům z důvodu nízkého měrného výkonu, ale jejich výkon by měl postupem vývoje narůstat. Ke klasickému osvětlování se používají LED diody výhradně s bílou barvou světla. Index podání barev R_a může být větší než 80.

K výhodám světelných diod patří především doba života, možnost generování různých barev spektra, malé rozměry, možnost stmívání atd. Bílé LED diody dosahují života až 50 000 hodin a barevné až 100 000 hodin, ovšem intenzita světla v průběhu užívání postupně klesá. Jedná se prakticky o bodové zdroje, takže mají velmi malé rozměry.

Nevýhodou diod je závislost teploty na PN přechodu. Tím je omezena především velikost příkonu (5W). Tento nedostatek může být odstraněn použitím většího počtu těchto světelných zdrojů.



Obr. 9 LED dioda [5]

Generování bílého světla

Světlo je vnímáno jako bílé, jestliže jsou tři typy čípků na sítnici oka vybuzeny v určitém poměru. V případě bílého světla jsou trichromatické složky lokalizovány v blízkosti středu diagramu chromatičnosti. Generovat bílé světlo pomocí LED zářičů je možné principiálně dvěma různými způsoby pomocí:

- mixování monochromatických LED zářičů,
- konvertoru vlnových délek. [1]

Komplementární vlnové délky

Existují dva způsoby vzniku bílé barvy mixováním monochromatických LED zářičů. Prvním způsobem, jak vygenerovat bílé světlo je použitím dvou monochromatických světelných zdrojů o komplementárních vlnových délkách λ_1 a λ_2 určitého výkonového poměru. Druhým způsobem generování bílé barvy, je vytvořením tzv. trichromatického světelného zdroje, jehož principem je sloučení tří monochromatických LED diod (RGB).

Konvertor vlnových délek

Většina LED diod vyzařuje na kratší vlnové délce. Část světelného záření je absorbováno v konvertorovém materiálu a znovu vyzářeno s delší vlnovou délkou. Konvertory vlnových délek mohou být fosfory, polovodiče, nebo barviva. Nejčastěji používaným vlnovým konvertorem je fosfor, z důvodu jeho velmi dobré stability. Základními parametry konvertorových materiálů jsou absorpční a emisní vlnová délka a kvantová účinnost, která může teoreticky dosáhnout 100%.

[1] [2] [3]

2.2 Svítidla pro venkovní osvětlení

Svítidla jsou zařízení, která rozdělují, mění nebo filtrují světelný tok zdroje. Kromě světelného zdroje obsahují rovněž díly pro upevnění a ochranu zdrojů, pomocné obvody (v případě potřeby) a prostředky pro jejich připojení k síti.

2.2.1 Světelně technické parametry svítidel

Světelný tok svítidla

Světelný tok svítidla Φ_{SV} , který je svítidlem opticky upraven, je dán rozdílem světelného toku všech zdrojů Φ_Z umístěných ve svítidle a světelného toku ztraceného Φ_{ZTR} , který se ztratil při optickém zpracování. [1]

Účinnost svítidla

Účinnost svítidla charakterizuje hospodárnost svítidla a její hodnota je dána poměrem světelného toku svítidla ke světelnému toku zdrojů.[1]

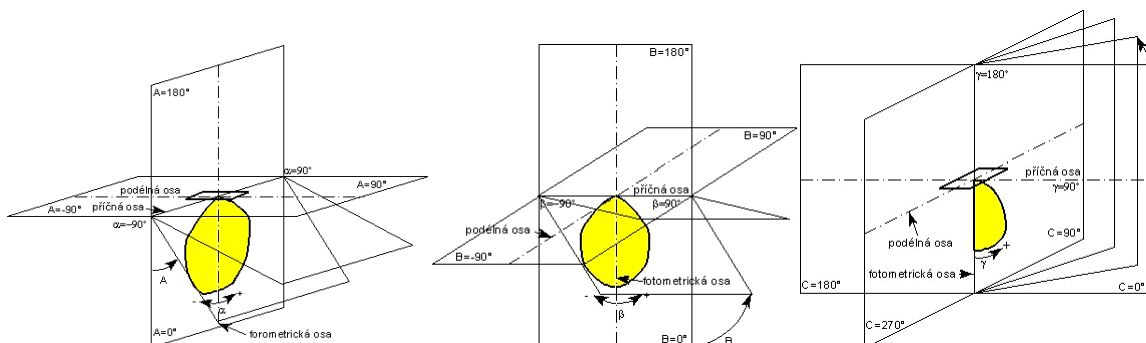
$$\eta_{SV} = \frac{\phi_{SV}}{\phi_Z} \quad [-; lm, lm]$$

Φ_{SV} ... světelný tok svítidla,

Φ_Z ... světelný tok všech zdrojů světla ve svítidle. [1]

Rozklad svítivosti svítidla

Rozložení svítivosti svítidla v prostoru může být souměrné nebo nesouměrné. Svítivosti jsou udávány pomocí fotometrických systémů A- α , B- β a C- γ . Nejčastěji používaným fotometrickým systémem je C- γ . U svítidel s rotačně symetrickou plochou svítivosti se používá křivka svítivosti pouze jediné fotometrické roviny.



Obr. 10 Křivky svítivosti ve fotometrických systémech A- α , B- β , C- γ [2]

Činitel tvaru křivky svítivosti

Činitel tvaru křivky je dán poměrem maximální svítivosti I_{\max} a střední svítivosti $I_{\text{stř.}}$. [1]

$$K_F = \frac{I_{\max}}{I_{\text{stř.}}} \quad [-; cd, cd]$$

I_{\max} ... maximální svítivost,

$I_{\text{stř.}}$... střední svítivost. [1]

Jas svítidel

Jas svítidel je podíl svítivosti v daném směru a velikosti průmětu svítící plochy do roviny kolmé k uvažovanému směru. [1]

$$L_\gamma = \frac{I_\gamma}{A \cdot \cos \gamma} \quad [cd \cdot m^{-2}; cd, m^2]$$

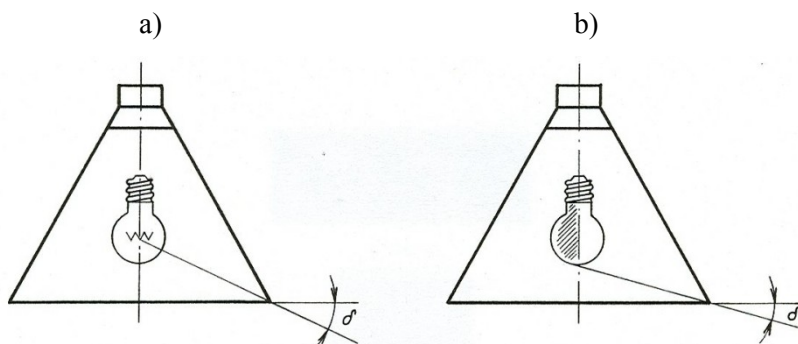
I_γ ... je svítivost svazku světelných paprsků (svítící plochy),

A ... je velikost svítící plochy viditelné pozorovatelem,

γ ... je úhel mezi normálou plochy a směrem radiusvektoru I_γ . [1]

Úhel clonění

Úhel clonění δ udává míru zaclonění světelného zdroje svítidlem. Je to nejmenší ostrý úhel mezi vodorovnou rovinou a přímkou spojující okraj svítidla se světelným zdrojem. [1]



a) žárovka

b) žárovka s opálenou baňkou
nebo výbojka s luminoforem

Obr. 11 Úhel clonění svítidla [6]

Činitel využití - u

Udává podíl užitečného světla ke světlu vyprodukovanému světelným zdrojem. Je nedílnou součástí hodnocení celkové účinnosti osvětlovací soustavy.

2.2.2 Konstrukční prvky svítidel

Svítidla pro venkovní osvětlení se skládají z optické, mechanické a elektrické části. Optická část udává, kolik světla a kam bude světelný tok směřován. Mechanická část slouží k zachování optických vlastností svítidla po celou dobu technického života a celého svítidla po co nejdelší dobu. Elektrická část, kterou tvoří předřadník, má vliv na celkovou spotřebu elektrické energie.

2.2.2.1 Reflektor

Tvoří optickou část svítidel a usměrňuje světlo vycházející ze svítidla. Jeho optické vlastnosti jsou dány materiálem a způsobem jeho zpracování. Neméně důležitou vlastností je tvar reflektoru.

Druhy reflektorů podle použitého materiálu:

- **Lakovaný** – v dnešní době se takřka nepoužívá.
- **Matovaný hliník** – odraznost světla 55 – 60%.
- **Leštěný hliník** – odraznost světla 60 – 72%.
- **Plátovaný hliník** – odraznost světla 72 – 90%.

2.2.2.2 Difuzor

Tvoří optickou část svítidel, která má vliv na účinnost a rozložení světelného toku.

Materiály difuzorů:

- **Tvrzené sklo** – barevně stabilní, odolává tepelným účinkům, ale špatně se tvaruje, proto existují varianty mírně vypuklého skla nebo plochého skla.
- **Antireflexní tvrzené sklo** – vylepšuje vlastnost plochého skla.
- **PC (polykarbonát)** – nerozbitný, avšak po 3-6 letech se zakalí – zežloutne.
- **PMMA (polymetylmetakrylát)** – barevně stálý, ale není nerozbitný.
- **Žádný materiál** – nevhodné pro venkovní osvětlení, působí vlivy klimatu.

Tvary difuzorů:

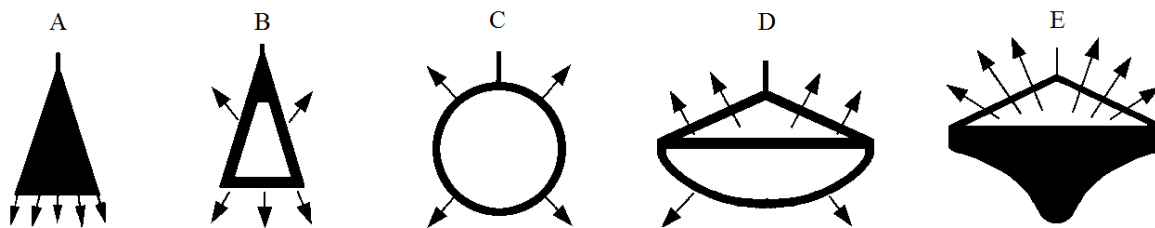
- **Vypouklý** (plastový) – nejběžnější, nejlepší poměr cena / výkon.
- **Refraktor** – vypuklý difuzor, který tvoří tzv. Fresnelovu čočku. To jsou hranolky, které lámou světlo a přesměrují tedy paprsky vycházející ze svítidla příslušným směrem. Jejich nevýhodou je náročnost výroby, z čehož vychází i jeho cena.
- **Ploché sklo** – má větší ztráty, než vypuklé difuzory. Jestliže světlo dopadá na sklo pod větším úhlem od normály, zvětšují se ztráty průchodem.
- **Ploché sklo – antireflexní** – světelné paprsky mají menší ztráty. Jejich nevýhoda je v ceně.
- **Mírně vypouklé sklo** – jedná se o variantu svítidla s plochým sklem.
- **Žádný** – má největší účinnost, avšak jen krátkodobě. Nepříjemné řešení!

2.2.3 Třídění svítidel

Svítidla je možné rozdělit podle vlastností, typu světelného zdroje, oblasti použití (venkovní, vnitřní), ale nejjednodušší je roztržidění podle prostorového rozložení světelného toku do horního a dolního poloprostoru.

Tab. 1 Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku

Svítidlo	DLR (%)	ULR(%)	Značení podle DIN 5040
přímé	90 až 100	0 až 10	A
převážně přímé	60 až 90	10 až 40	B
smíšené	40 až 60	40 až 60	C
převážně nepřímé	10 až 40	60 až 90	D
nepřímé	0 až 10	90 až 100	E



Obr. 12 Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku [11]

2.2.4 Další vlastnosti svítidel

Aby svítidlo vyhovovalo svojí kvalitou a minimálními náklady novým požadavkům, musí splňovat následující vlastnosti:

- Vysoké krytí IP.
- Systémy umožňující dýchání - membrány propouštějící jednosměrně vlhkost ven ze svítidla.
- Možnost nastavení vzájemné polohy reflektoru a difuzoru vůči sobě a vůči zdroji, kdy bude účinnost svítidla maximální.

Krytí IP

Podle ČSN EN 60529 (33 0330) se krytí označuje pod zkratkou IP xx (International Protection). První číslice (0 až 6) označuje ochranu před nebezpečným dotykem živých částí a před vniknutím cizích předmětů. Druhá číslice (0 až 8) vyjadřuje ochranu před vniknutím vody. Nejnižší krytí u svítidel je IP 20 a to pro nízká napětí. Nejčastěji používaným krytím svítidel je IP 65. S vyšší ochranou krytí se prodlužuje doba životnosti optického systému.

Krytí IP je jedním z technických parametrů svítidel. Používá se pro označení krytí světelně činných částí svítidel. Dalším parametrem svítidel je **třída ochrany** udávající způsob ochrany proti úrazu elektrickým proudem, značí se třídami I, II a III. Další vlastností svítidel je **mechanická odolnost** svítidla užívaná z hlediska ochrany před vandalismem. Označuje se IKz, kde písmeno z je stupněm mechanické odolnosti v rozmezí 0 až 10.

Tab. 2 Význam číslic pro krytí IP [1]

První číslice	Stupeň ochrany před nebezpečným dotykem a vniknutím cizích předmětů	Druhá číslice	Stupeň ochrany před vniknutím vody
1	bez ochrany	1	bez ochrany
2	před vniknutím pevných těles větších než 500 mm (hřbetu ruky)	2	před kapající vodou při sklonu 15°
3	před vniknutím pevných těles větších než 12,5 mm (prstu)	3	před dopadající vodou při sklonu 60° (déšť)
4	před vniknutím pevných těles větších než 2,5 mm (jemného nástroje)	4	před stříkající vodou (z libovolného směru)
5	před vniknutím těles větších než 1 mm (drátu)	5	před tryskající vodou (tj. tlakovou vodou)
6	před prachem (částečně, prach však nemůže narušit funkce svítidla)	6	před intenzivně stříkající vodou
		7	při dočasném ponoření (při určeném tlaku a čase)
		8	při trvalém ponoření

2.2.5 Volba optimální varianty svítidel

Volba optické charakteristiky svítidla pro:

- **Běžné komunikace** – široká charakteristika rozložení svítivosti ve směru komunikace a úzká ve směru příčném.
- **Rozsáhlá prostranství** (náměstí) – užívají se kulatá světla s pokoveným vrchlíkem. V případě památných budov je vhodné, aby část světelného toku směřovala i do horního poloprostoru.
- **Přechod pro chodce** – užívají se speciální světla s asymetrickou charakteristikou.
- **Cyklistické stezky** – extrémně široká charakteristika rozložení svítivosti ve směru jízdy a naopak extrémně úzká ve směru příčném.

[1] [3]

3 Rozbor venkovních osvětlovacích soustav

Venkovní osvětlovací soustava je soubor svítidel se světelnými zdroji, elektrickým rozvodem, ovládacími prvky a příslušenstvím, které má za úkol zajištění osvětlení venkovních prostorů vyhovujícím způsobem. Volba osvětlovací soustavy má rovněž vliv na zrakovou pohodu.

3.1 Základní požadavky na návrh venkovního osvětlení

Základními požadavky pro návrh osvětlení jsou:

- rovnoměrnost osvětlení nebo jasu (u komunikací se hodnotí hlavně jasy),
- omezení oslnění,
- index podání barev – zpravidla malý ($R_a = 20$).

3.2 Návrh osvětlovacích soustav venkovního osvětlení

Základní druhy osvětlovacích soustav venkovního osvětlení jsou tyto:

- osvětlení venkovních pracovišť s aktivní nebo kontrolní činností,
- osvětlení v dopravě pro pěší, motorovou, kolejovou, lodní a leteckou dopravu,
- osvětlení bezpečnostní pro ochranu osob a majetku na veřejných prostranstvích, ostraha uzavřených objektů,
- osvětlení sportovišť. [7]

3.3 Druhy osvětlovacích soustav

Existují dva typy osvětlovacích soustav venkovního osvětlení:

- **Osvětlovací soustavy se svítidly (decentralizované)** - mají velký počet svítidel rozmístěných pravidelně po osvětlené ploše. Každý nosný systém je osazen jedním svítidlem, které je jednotně orientováno. Tento typ soustav se používá u osvětlování komunikací.
- **Světlometné soustavy (centralizované)** – vyznačují se malým počtem světelných míst s více svítidly, které jsou různě orientovány. Nosným systémem jsou stožáry nebo věže osazené obslužnými lávkami.

3.4 Volba světelného zdroje pro venkovní osvětlení

Mezi vhodné světelné zdroje pro venkovní osvětlení patří:

- **Vysokotlaké rtuťové výbojky**, které se užívají v místech VO s průměrnými požadavky na podání barev.
- **Vysokotlaké halogenidové výbojky** vyhovují svým měrným výkonem a dobrým podáním barev.
- **Vysokotlaké sodíkové výbojky** vyhovují běžným požadavkům ve VO, kromě indexu podání barev.

Nevhodnými světelnými zdroji pro venkovní osvětlení jsou:

- **Žárovky** pro svůj malý měrný výkon a krátké době života.
- **Zářivky** z důvodu závislosti světelného toku na teplotě.

3.5 Volba svítidla

Volba svítidla je dána dvěma faktory:

- Účinným využitím světelného toku zdroje a správným rozložením svítivosti při současném clonění.
- Ochranou svítidla, hlavně optické části proti prachu, dešti, mechanickému poškození atd.

3.6 Veřejné osvětlení

3.6.1 Členění osvětlení

Druhy osvětlení podle charakteru účelu:

- osvětlení vnitřních částí měst a obcí,
- osvětlení vnějších částí měst a obcí,
- osvětlení parků,
- osvětlení silnic, dálnic a vozovek se silnou dopravou,
- osvětlení podjezdů a podchodů,
- osvětlení tunelů,
- osvětlení odstavných ploch (parkovišť apod.),
- slavnostní osvětlení (osvětlování významných budov, uměleckých děl, památek atd.). [7]

Dále se členění osvětlení na:

- osvětlení sídlišť,
- osvětlení obchodních čtvrtí nebo částí měst vyhrazených jen pro chodce (pěší zóny, pěší centrální oblasti měst),
- osvětlení základního komunikačního systému měst, mimoúrovňových křižovatek. [7]

3.6.2 Základní prvky veřejného osvětlení

Veřejné osvětlení se skládá ze tří základních částí, kterými jsou osvětlovací systém, napájecí systém a ovládací (řídící) systém.

Osvětlovací systém zahrnuje světelné zdroje, svítidla a nosné nebo podpěrné prvky jako stožáry a výložníky. Napájecí systém tvoří elektrický rozvod z napájecích rozvaděčů. Ovládací systém zajišťuje regulaci VO, zpětnou kontrolu stavu a hlavně zapínání a vypínání VO.

3.7 Návrh veřejného osvětlení

Návrh veřejného osvětlení je řízen nejnovějšími normami ČSN EN 13201 (36 0455) skládajících se těchto čtyř částí:

- TR 13201-1: Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: **Výběr tříd osvětlení**,
- EN 13201-2: Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: **Požadavky**,
- EN 13201-3: Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: **Výpočet**,
- EN 13201-4: Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: **Metody měření**. [13]

3.7.1 Postup pro odvození požadavků na osvětlení:

Podle normy ČSN TR 13201-1 je k odvození odpovídajících požadavků na veřejné osvětlení doporučeno postupné provádění následujících kroků:

- definování úseku veřejné pozemní komunikace v jedné nebo několika relevantních oblastech a výběr příslušné modelové situace (viz Tab.3),
- uplatnění tabulky, odpovídající příslušné modelové situaci (viz normy ČSN TR 13201-1, příloha A),
- podrobné definování relevantní oblasti (viz normy ČSN TR 13201-1, článek 5.2 a 5.3),
- výběr rozsahu tříd osvětlení,

- výběr jedné třídy osvětlení z daného rozsahu,
- nalezení požadavků na osvětlení pro vybranou třídu (pro vybrané třídy) osvětlení,
- uplatnění všeobecných doporučení (viz normy ČSN TR 13201-1, kapitola 6). [13]

Tab. 3 Modelová situace [13]

Typická rychlost hlavního uživatele km/h	Druh uživatelů ve stejné relevantní oblasti			Modelová situace
	hlavní uživatel	jiný povolený uživatel	nepovolený uživatel	
> 60	motorová doprava		velmi pomalá vozidla cyklisté chodci	A1
		velmi pomalá vozidla	cyklisté chodci	A2
		velmi pomalá vozidla cyklisté chodci		A3
> 30 a ≤ 60	motorová doprava velmi pomalá vozidla	cyklisté chodci		B1
	motorová doprava velmi pomalá vozidla cyklisté	chodci		B2
	chodci	chodci	motorová doprava velmi pomalá vozidla	C1
> 5 a ≤ 30	motorová doprava chodci		velmi pomalá vozidla	D1
		velmi pomalá vozidla cyklisté		D2
	motorová doprava cyklisté	velmi pomalá vozidla chodci		D3
	motorová doprava velmi pomalá vozidla			D4
rychlost chůze	cyklisté chodci			
	chodci		motorová doprava velmi pomalá vozidla cyklisté	E1
		motorová doprava velmi pomalá vozidla cyklisté		E2

3.7.2 Řady tříd osvětlení podle normy ČSN EN 13201-2

- **ME/MEW** – vztahují se na komunikace, po kterých se vozidla pohybují střední až vysokou povolenou rychlostí (pro převládající mokré povrch se používá třída MEW).
- **CE** – platí pro komunikace v konfliktních oblastech, jako jsou složitější křižovatky, obchodní třídy, kruhové objezdy nebo oblasti s častými dopravními zácpami. Třída CE lze rovněž použít pro podchody a podjezdy používané cyklisty a chodci.
- **S, A** – vztahují se na stezky pro chodce nebo cyklisty, odstavné pruhy, komunikace v obytných zónách, pěší zóny, školní dvory, parkoviště atd.
- **ES** – používá se jako doplňková třída pro pěší zóny se zvýšeným rizikem kriminality.
- **EV** – využití nachází jako doplňková třída pro nutnost dobrého vidění svislé plochy, např. křižovatky.

3.8 Geometrie osvětlovací soustavy

Rozdělení komunikací:

- na směrově rozdělené a směrově nerozdělené,
- na jednosměrné a obousměrné,
- podle počtu dopravních pruhů na dvou, tří, čtyř a šestipruhové. [1]

Soustavy:

- osová,
- jednostranná,
- vystřídáná,
- párová. [1]

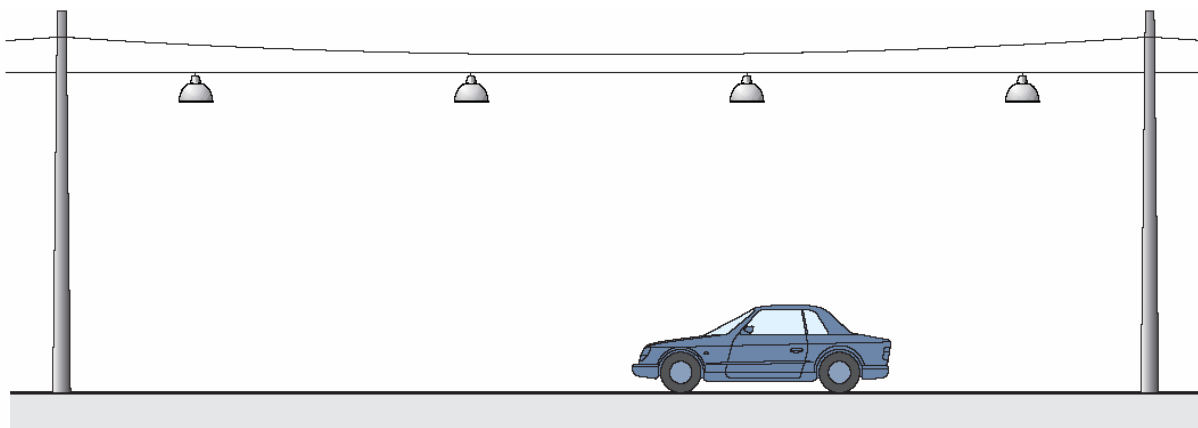
3.9 Rozmístění svítidel veřejného osvětlení

Při rozmísťování svítidel veřejného osvětlení musíme brát ohled na:

- třídu jednotlivých komunikací,
- možnost rozmístění jednotlivých světelných míst,
- pozorovatele místa zrakového úhlu sedícího v jedoucím automobilu, který pozoruje z výšky cca 1,5m vzdálenost přibližně od 50m do 100m.

3.9.1 Osová osvětlovací soustava veřejného osvětlení

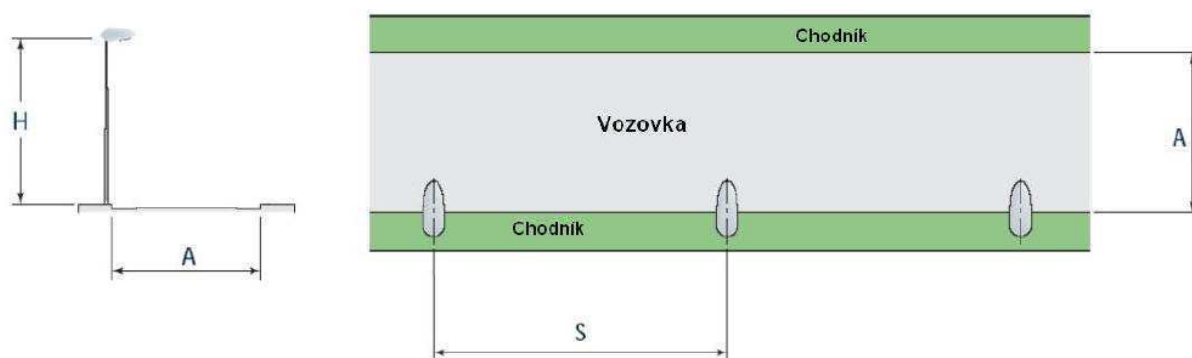
Z hlediska distribuce světelného toku a minimálního příkonu je tato metoda osvětlení komunikace nejefektivnější. Nevýhodou je ovšem její realizovatelnost.



Obr. 13 Osová osvětlovací soustava veřejného osvětlení [2]

3.9.2 Jednostranná osvětlovací soustava veřejného osvětlení

Tato soustava se používá pro relativně úzké komunikace nižší třídy. Jejich výhodou je jedno napájecí vedení, čímž se snižují pořizovací náklady.



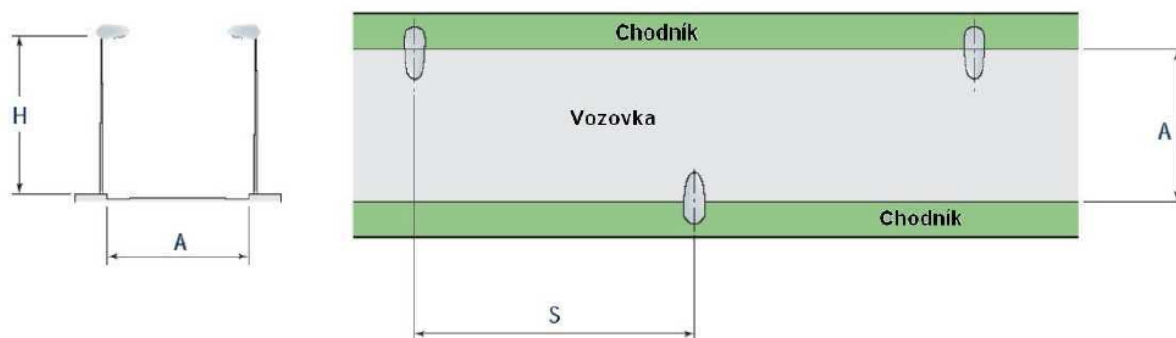
Obr. 14 Jednostranná osvětlovací soustava veřejného osvětlení [8]

3.9.3 Oboustranná osvětlovací soustava veřejného osvětlení

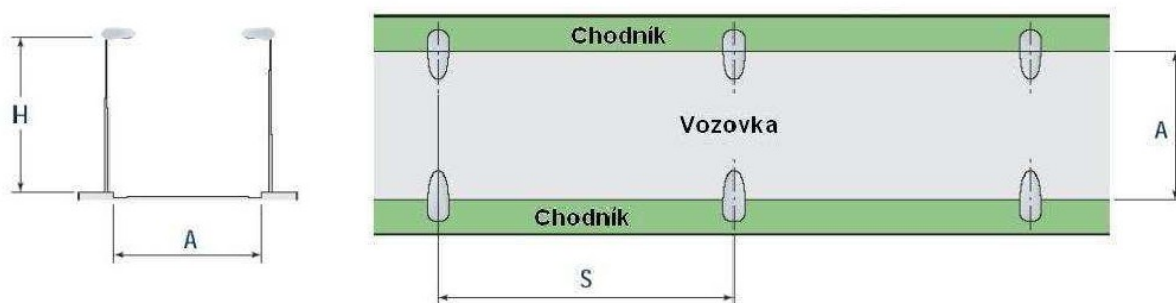
Tento typ soustavy se používá pro širší komunikace při požadavku rovnoměrného osvětlení. Po stránce ekonomické jsou jejich nevýhodou vysoké pořizovací náklady na položení napájecího vedení po obou stranách.

Existují dva typy oboustranných osvětlovacích soustav pro osvětlení komunikací:

- vystřídaná,
- párová.



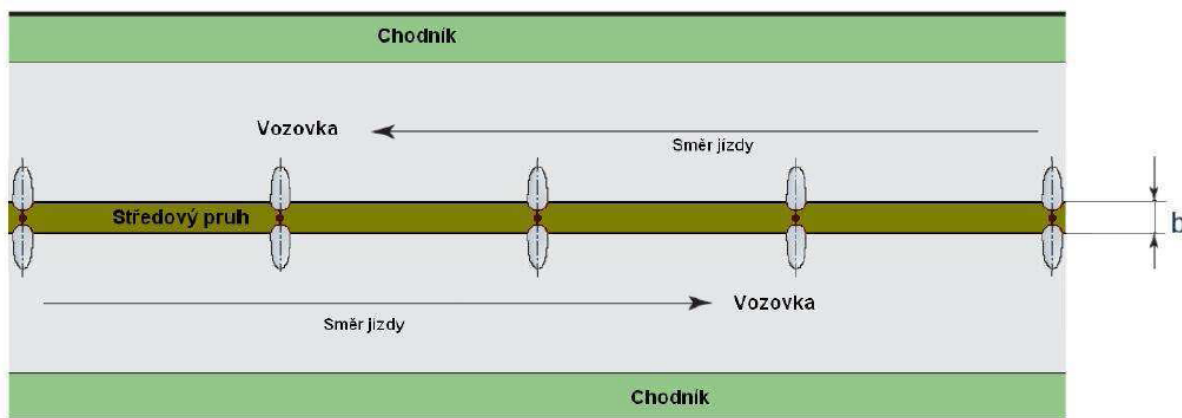
Obr. 15 Oboustranná vystřídaná osvětlovací soustava [8]



Obr. 16 Oboustranná párová osvětlovací soustava [8]

3.9.4 Osvětlovací soustava veřejného osvětlení na směrově rozdělené komunikaci

Výhodou takto navržené osvětlovací soustavy jsou nižší náklady, jelikož je položeno pouze jedno napájecí vedení ve středovém pruhu.



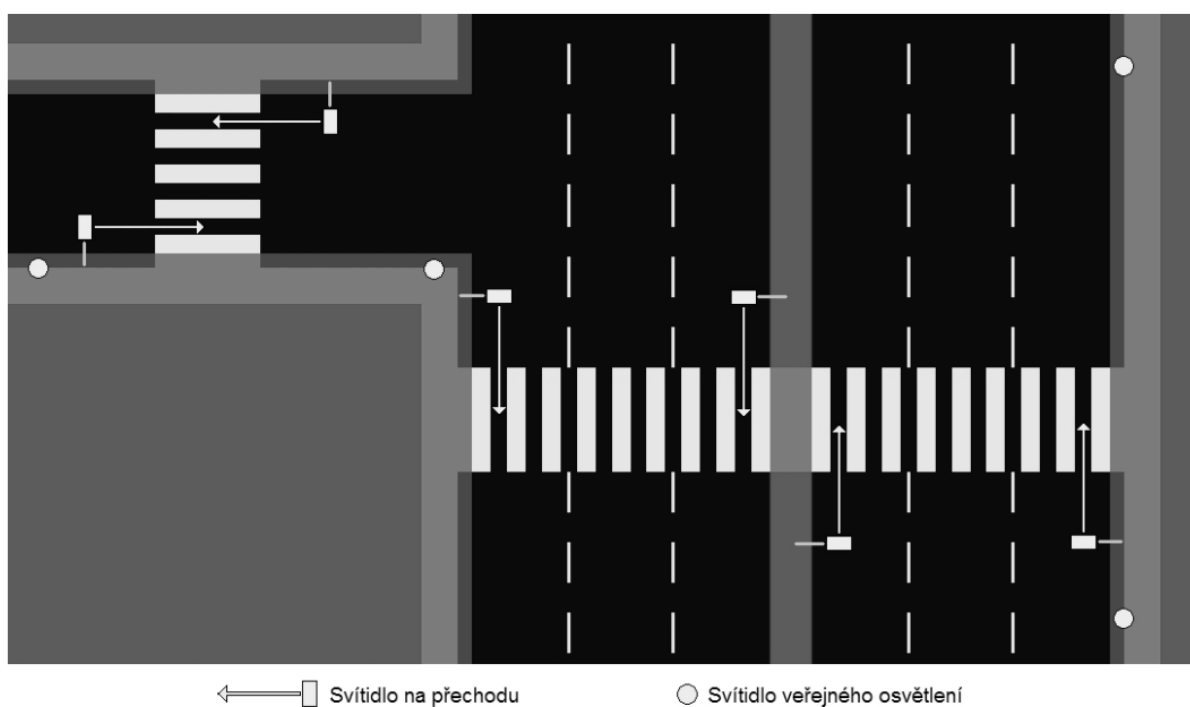
Obr. 17 Osvětlovací soustava veřejného osvětlení na směrově rozdělené komunikaci [8]

3.9.5 Osvětlení úrovně křižovatky

Svítlidla na úrovně křižovatkách se vždy umísťují po levé straně vozovky, přibližně 3m před jejím ohybem. Křižovatka se osvětluje na ten stupeň osvětlení, který má komunikace ústící do křižovatky nejvyšší. Pokud se liší osvětlení protínajících se komunikací o více než 1 stupeň, musí se na méně osvětlené komunikaci zvýšit osvětlení tak, aby se lidské oko dokázalo adaptovat na dané osvětlení křižovatky.

3.9.6 Osvětlení přechodů pro chodce

V místě přechodu je potřeba provozovat osvětlení na principu negativního kontrastu. Nesmí se tedy svítidlo umisťovat těsně před přechod, nad něj, nebo dokonce za přechod. Svítidla pro osvětlení přechodu by se měla umisťovat přibližně ve vzdálenosti $\frac{1}{3}$ své výšky před přechodem ve směru příjezdějících aut. V případě obousměrné komunikace se musí svítidla umístit před přechodem v každém z obou směrů příjezdějících vozidel tak, aby neoslňovaly řidiče příjezdějícího z opačného směru.



Obr. 18 Osvětlení přechodu pro chodce[3]

[1] [2] [3] [7] [8] [13]

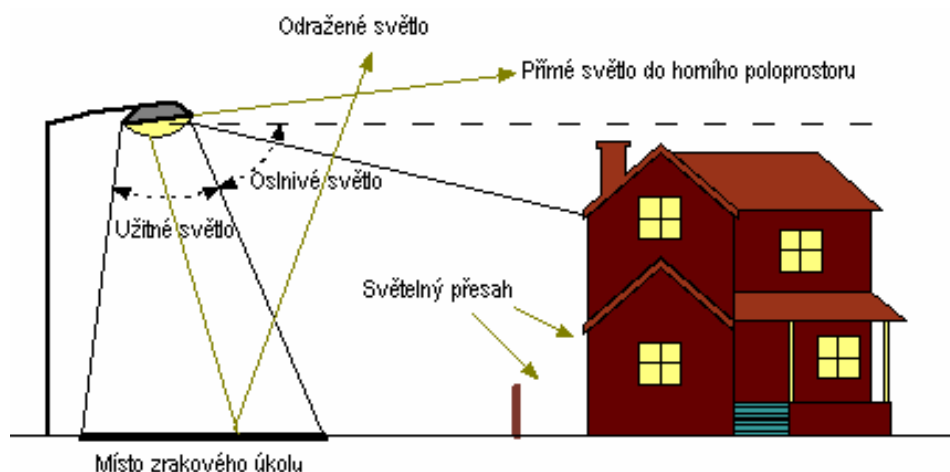
4 Rozbor potenciálních rušivých účinků venkovních osvětlovacích soustav

4.1 Rušivé světlo

Rušivé světlo je rozptýlené (nadměrné, parazitní) elektromagnetické záření šířící se venkovním prostorem. Takové světlo je produkováno umělými světelnými zdroji.

Rozptýlené světlo dopadá mimo hranice osvětlené oblasti a způsobuje nežádoucí jevy jako:

- závojevý jas oblohy (Sky glow),
- oslnivé světlo (Glare),
- světelný přesah (Spill light, light trespass). [1]



Obr. 19 Vznik různých forem rušivého světla ve venkovním prostředí [1]

4.1.1 Závojevý jas oblohy

Závojevý jas oblohy je tvořen světelným tokem ze svítidel VO a světelným tokem odraženým od povrchů. Důležitá je především odražená složka, která je opět rozptylována, pohlcována a propouštěna.

$$\phi = \phi_{\rho} + \phi_{\alpha} + \phi_{\tau} \quad [\text{lm}]$$

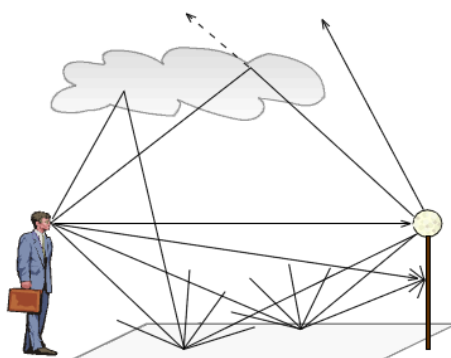
ϕ ... celkový světelný tok

ϕ_{ρ} ... odražený světelný tok

ϕ_{α} ... pohlcený světelný tok

ϕ_{τ} ... propuštěný světelný tok

Závojevý jas je projevem interakce světla a prostředí. Snížení pozorovatelnosti objektů na obloze je způsobeno zvýšením jasu oblohy, který snižuje kontrast mezi jasy objektů na obloze a jasem oblohy.



Obr. 20 Rozptyl světla na částicích a vznik závojevého jasu [1]

4.1.2 Oslnivé světlo – oslnění

Pro rozlišení předmětů je důležité, aby tyto předměty měly různé jasy. Zpozorovat předmět lze při rozdílu jasu kritického detailu L_a a jasu bezprostředního okolí L_b . Kontrast jasu udává stupeň rozeznatelnosti za předpokladu rovnoměrného jasu kritického detailu i bezprostředního okolí.

$$K = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad [-; cd.m^{-2}; cd.m^{-2}]$$

Oslnění vzniká, jestliže je kontrast jasu či jas samotný vyšší, než na jaký je zrak adaptován. Tento nežádoucí jev může způsobit např. předimenzované, nebo špatně nasměrované světlo. Oslnění zhoršuje, dokonce znemožňuje vidění a může být příčinou úrazu.

4.1.3 Světelný přesah

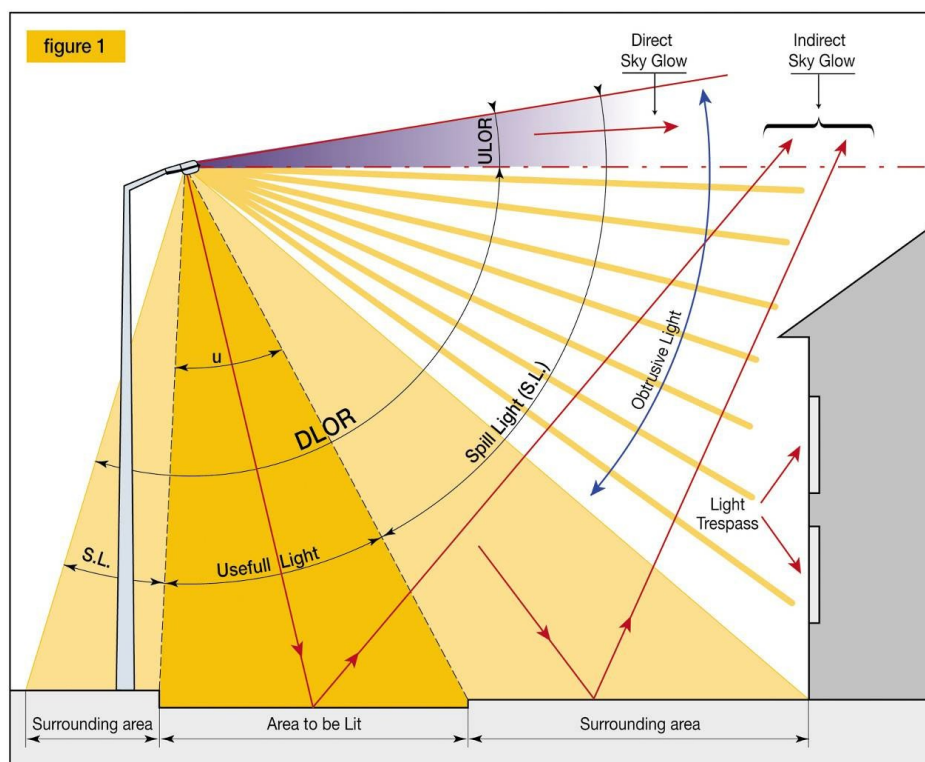
Světelný přesah je nežádoucí světlo, které svítí mimo určený prostor. Takové světlo např. ze svítidel VO, které dopadá do příbytků nebo osvětluje pozemky je nežádoucí a narušuje soukromí obyvatel.

4.2 Zdroje rušivého světla

Zdrojem rušivého světla jsou svítidla používaná pro:

- **osvětlení pozemních komunikací** – Osvětlení komunikací má největší podíl na vzniku rušivého světla, jelikož je nejpočetnější formou venkovního osvětlení.
- **osvětlení letišť** – Zde jsou kladeny vysoké nároky na omezení rušivého světla, zejména oslnění. Svítidla na letištích mohou na rozdíl od osvětlení pozemních komunikací vyzařovat světelný tok do horního poloprostoru.
- **osvětlení venkovních sportovišť** – Pro osvětlování velkých ploch se používají svítidla s výkonnými zdroji světla.
- **osvětlení venkovních pracovišť**
- **architektonické osvětlení** – Pro osvětlování architektonických budov a památek se používají svítidla svítící i do horního poloprostoru a mají proto podíl na závojevém jasu oblohy.
- **reklamní osvětlení** – Problémem osvětlení reklamních ploch, billboardů nebo různých směrových ukazatelů je nepřiměřeně vysoká hladina osvětlenosti ploch.

4.3 Základní pojmy a výpočty rušivých účinků venkovních osvětlovacích soustav



Obr. 21 Distribuce světla veřejného osvětlení [9]

Základní pojmy:

ULR (Upward Light Output Ratio) [%]

- podíl světelného toku vyzařovaného nad vodorovnou rovinu

DLR (Downward Light Output Ratio) [%]

- světelný tok vyzařovaný pod vodorovnou rovinu

u (UF - Utilization factor) [%]

- činitel využití světelné instalace
- podíl světelného toku svítidla ke světelnému toku zdrojů

Φ_{sv} (F_{la} – Lamp lumen output) [lm]

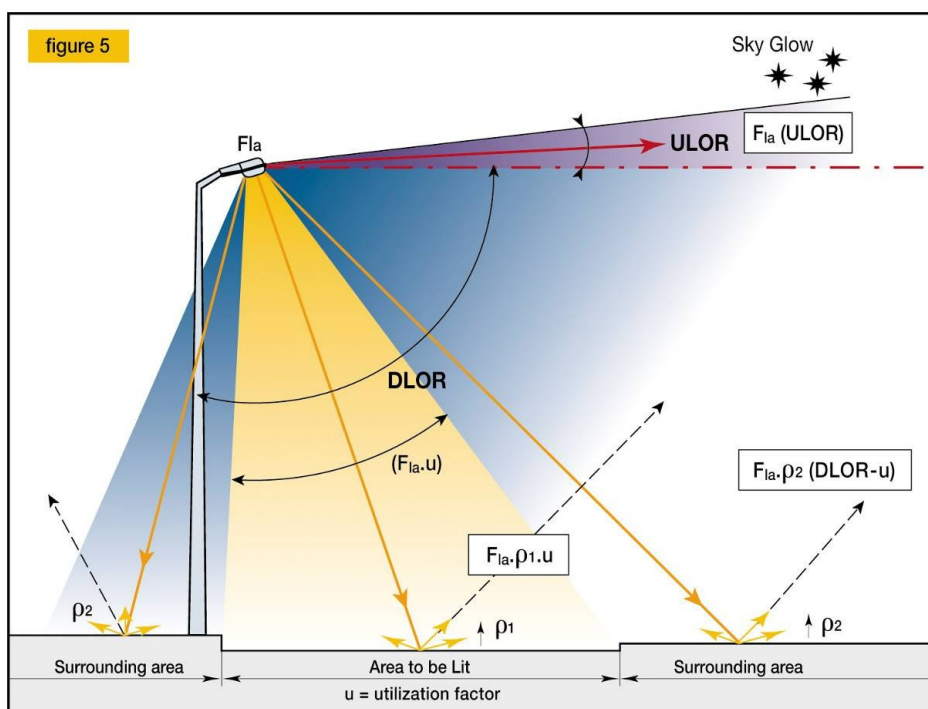
- světelný tok svítidla

ρ_1 (Reflection factor of the area to be lit) [%]

- činitel odrazu osvětlené oblasti

ρ_2 (Reflection factor of the surrounding area) [%]

- činitel odrazu okolní oblasti



Obr. 22 Veřejné osvětlení: příspěvi závojevého jasů [9]

Výpočty:

- Přímý světelný tok emitovaný svítidlem do horního poloprostoru

$$\Phi_{sv} \cdot ULR$$

- Světelný tok odražený plochou, která má být osvětlena

$$\Phi_{sv} \cdot \rho_1 \cdot u$$

- Světlo odražené okolní plochou

$$\Phi_{sv} \cdot \rho_2 \cdot (DLR - u)$$

Následně:

UPF (Upward Flux) [%]

- maximální světelný tok v horním poloprostoru pocházející z přímého a nepřímého světelného toku

$$UPF = \Phi_{sv} [ULR + \rho_1 \cdot u + \rho_2 (DLR - u)] \quad [lm]$$

pro $\Phi_{sv} = E \cdot S / u$

$$UPF = E \cdot S \left[\frac{ULR}{u} + \rho_1 + \rho_2 \left(\frac{DLR}{u} - 1 \right) \right]$$

E ... osvětlenost (intenzita osvětlení) [lx]

S ... plocha osvětleného povrchu [m²]

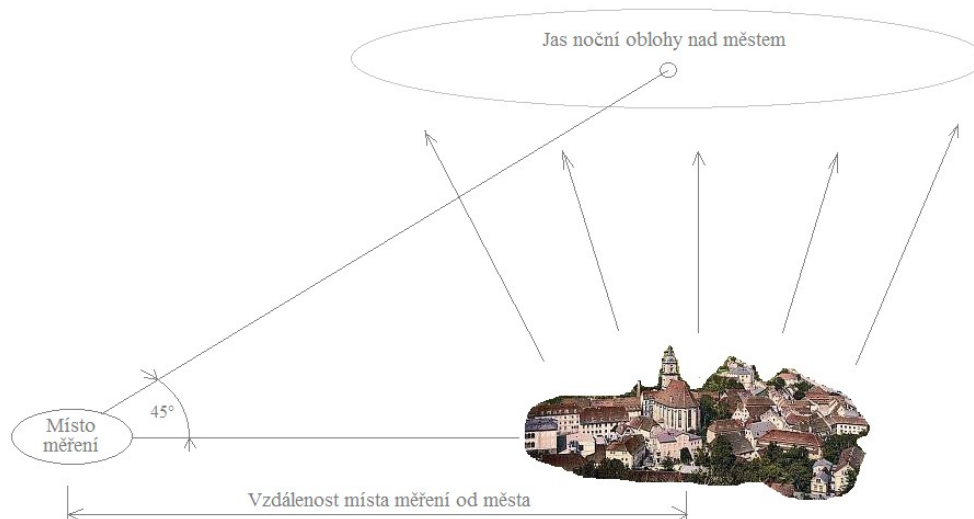
UPF_{min} (Upward Flux min.) [%]

- minimální hodnota světelného toku v horním poloprostoru
- při DLR = 0 a ULR = 0

$$UPF_{min} = E \cdot S \cdot \rho_1$$

4.4 Vztah mezi jasem oblohy a rozlohou města

Vztah uvedený níže platí pro velká města, nebo průmyslové koncentrace. Vzorec zahrnuje vzdálenost místa měření od měřeného města, počet obyvatel daného města a faktor závislý na složkách jako je světelný tok na obyvatele a dalších faktorech jako odraznost od země.



Obr. 23 Měření jasu noční oblohy města

$$L = C \cdot P \cdot d^{-2,5} \quad [cd \cdot m^{-2}]$$

L ... jas oblohy měřený směrem ke zdroji pod úhlem sklonu 45°,

d ... vzdálenost,

P ... počet obyvatel,

C ... faktor závislý na světelném toku na obyvatele a dalších faktorech jako odraznost od země.

Tab. 4 Vztah mezi populací a světelným tokem vyzářeným do horního poloprostoru[10]

Populace ($\cdot 10^3$)	Relativní světelný tok do horního poloprostoru na osobu[lm]		
	nízký	průměrný	vysoký
2	2	7	20
5	1,3	10	25
10	4	17	21
20	10,5	25	80
50	20	60	230
100	70	110	160
200	105	300	300
500	600	800	1000
1000	600	1000	1000
20000	2000	2000	2000

Tab. 4 odkazuje na vztah mezi celkovým světelným tokem emitovaným do horního poloprostoru a počtem obyvatel. Stanovená normalizace vypadá na první pohled pouze jako orientační, nicméně pro šíření světelného toku do horního poloprostoru je významná.

Výpočet průměrného jasu nad městem Ostrava v nočních hodinách:

Počet obyvatel města: 318726

Rozloha města: 214,2 km²

Vzdálenost místa měření od města: 10km

Průměrná hodnota celkového světelný tok na osobu pro město Ostrava: 497lm (odvozeno z Tab.4):

Tab. 5 Vztah mezi populací a světelným tokem vyzářeným do horního poloprostoru pro Ostravu

Populace ($\cdot 10^3$)	Relativní světelný tok do horního poloprostoru na osobu[lm]		
	nízký	průměrný	vysoký
200	105	300	300
318,7	300	497	577
500	600	800	1000

$$L = C \cdot P \cdot d^{-2,5} = 497 \cdot 318726 \cdot 10000^{-2,5} = 0,0158 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$$

Průměrný jas nad Ostravou měřený pod úhlem 45° ve vzdálenosti 10km od města je podle výpočtu roven $0,0158 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, což odpovídá teoretickým předpokladům. Ve výpočtu je zahrnut celkový světelný tok do horního poloprostoru na osobu $\Phi = 497 \text{ lm}$, dále počet obyvatel města $P = 318726$ a vzdálenost měření od města, kterou jsem zvolil 10km. Nutno ale upozornit, že vypočtená hodnota jasu je pouze orientační. Nelze vzorec používat pro přesný výpočet jasu nad městem.

4.5 Ztráty energie následkem rušivého světla

Pouze malá část energie užívaná lidstvem je vydávána ve formě světla do atmosféry, kde se projevuje jako rušivý účinek světla – rušivé světlo. Tato energie ale není až tak zanedbatelná. Podle publikace Light Pollution Handbook je celková energie emitovaná Tureckem, které má 70 mil. obyvatel, do horního poloprostoru je okolo $120 \cdot 10^6 \text{ kWh/rok}$, což odpovídá přibližně 10 mil. US \$/rok.

Tab. 6 Energie vyzářená do horního poloprostoru pro několik měst [10]

Město	Emitovaná energie (kWh/rok/km ²)
Istambul	4850
Izmir	3080
Bursa	2370
Ankara	3880
Antalya	1730
Londýn	11200
Belfast	1620
Paříž	10700
New York	15000
Vídeň	6660

Tab. 7 Celková energie ztracená "do prostoru" v Nizozemí [10]

	Jednotka	Energie
Celková energie do horního poloprostoru na hlavu	kWh	19,6
Celková energie do horního poloprostoru státu	kWh	$313,6 \cdot 10^6$
Celková energie státu	kWh	$797,4 \cdot 10^{12}$
Celková elektrická energie státu	kWh	$78,3 \cdot 10^{12}$

Tato tabulka vychází z průměrné účinnosti svítidel VO $\eta_{sv} = 100 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Vyplývá z ní, že „pouze“ 0,0004% celkové spotřebované elektrické energie v Nizozemí je vyzářeno do atmosféry. Ovšem při přepočtu celkové energie (přímé a odražené složky) emitované do horního poloprostoru v Nizozemí s tarifní cenou pro VO 0,125 €/kWh se cena vyšplhá až na hodnotu okolo 32 mil. €/rok.

Cena energie přímé složky emitované do horního poloprostoru v ČR je přibližně 28,512 mil. Kč/rok. Rozdílnost cen je především dána složkou energie vyzářenou do atmosféry. V případě Nizozemí je počítáno s celkovou energií vyzářenou do atmosféry, kdežto pro ČR je výsledná cena energie spočítána pouze pro přímý tok ze svítidel VO. Dalším faktorem projevujícím se na rozdílnosti cen emitované energie je počet obyvatel státu, který je v Nizozemí o 60% vyšší. Upozorňuji, že výsledná čísla jsou pouze orientační.

4.5.1 Výpočet ceny elektrické energie vyzářené do atmosféry

Cena celkové elektrické energie vyzářené do horního poloprostoru za rok pro Nizozemí:

Nizozemí:

- rozloha: 41525 km²
- počet obyvatel: 16,575 mil.

Celková energie vyzářená do horního poloprostoru za rok:

$$W_{UPF} = 313,6 \cdot 10^6 \text{ kWh} \rightarrow 7552,08 \text{ kWh/km}^2$$

Cena celkové elektrické energie vyzářené do horního poloprostoru za rok:

$$Cena = W_{UPF} \cdot \text{tarif} = 313,6 \cdot 10^6 \cdot 0,125 = 39,2 \text{ mil. €/rok}$$

Tarif pro VO v Nizozemí činí 0,125 €/kWh

Výpočet ceny elektrické energie vyzářené přímou složkou VO do horního poloprostoru za rok pro ČR:

Česká republika

- rozloha: 78864 km²
- počet obyvatel: 10,273 mil.

Energie vyzářená VO do horního poloprostoru - **přímá složka**:

$$W_{ULR} = W_P \cdot W_{VO} \cdot W_H$$

W_{ULR} ... přímá složka energie vyzářené do atmosféry

W_P ... průměrná roční spotřeba elektrické energie v ČR

W_{VO} ... energie pro VO z celkové spotřeby elektrické energie v ČR: 1%

W_H ... přímá složka světelného toku vyzářeného svítidly VO do horního poloprostoru: 2%

$$W_{ULR} = 59,4 \cdot 10^9 \cdot 0,01 \cdot 0,02 = 11,88 \cdot 10^6 kWh \rightarrow 150 kWh/km^2$$

Cena elektrické energie vyzářené VO do horního poloprostoru za rok (přímá složka):

$$Cena = W_{ULR} \cdot tarif = 11,88 \cdot 10^6 \cdot 2,4 = 28,51 mil. Kč/rok$$

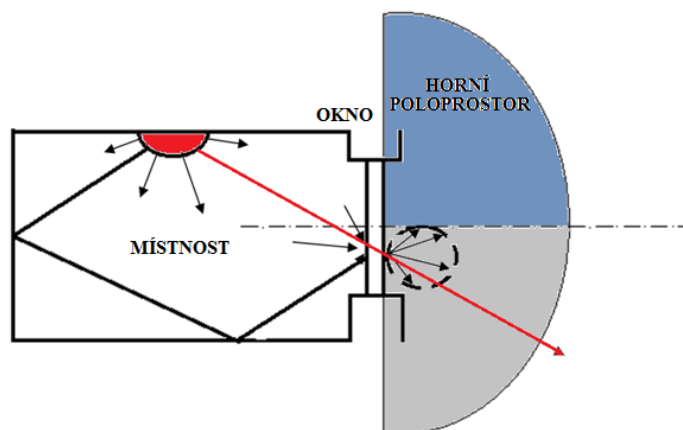
Tarif pro VO v ČR činí 2,4 Kč/kWh

4.5.2 Energetické ztráty okna

Vlastní návrh vnitřního osvětlení místnosti pro výpočet udržované osvětlenosti okna je proveden v programu ReluxPro 2011.2. Importované výsledky jsou uvedeny viz. Příloha.

Pro výpočet energetických ztrát okna o rozměrech 1,6 x 1,5m je namodelovaná místnost s rozměry 5 x 5m s výškou stropu 2,8m. Pro intenzitu osvětlení místnosti $E = 300lx$ jsou požity 4 svítidla typu EUROII SM/SA umístěná v montážní výšce 2,8m (stropní montáž) s celkovým výkonem 288W a celkovým světelným tokem 26800lm. Svítidlo EURO II SM/SA obsahuje dvě zářivkové trubice a jeho účinnost je rovna 58,7%. Udržovací činitel svítidla a činitelé odrazu stěn, stropu a podlahy jsou uvedeny v příloze. Okno místnosti je v programu navrženo jako srovnávací rovina svislé stěny daných rozměrů okna 0,6m nad podlahou.

Program ReluPro 2011.2 spočítal pro danou místnost a její intenzitu osvětlení udržovanou osvětlenost $E_m = 187lx$. S touto hodnotou udržované osvětlenosti okna je dále počítáno pro výpočet světelného toku zářícího do horního poloprostoru.



Obr. 24 Světelný tok šířící se oknem

Výpočet konstanty:

Udržovaná osvětlenost místnosti:

$$E_m = 187 \text{ lx}$$

Obsah okna:

$$S = a \cdot b = 1,5 \cdot 1,6 = 2,4 \text{ m}$$

Činitel prostupu světla:

$$\tau_{\text{sklo}} = 0,92$$

$$\tau_{\text{dvojsklo}} = 0,92 \cdot 0,92 = 0,85$$

$$\tau_{\text{záclona}} = 0,5 \div 0,75 \rightarrow \text{zvoleno } 0,6$$

$$\tau_{\text{sklo}} = \tau_{\text{dvojsklo}} \cdot \tau_{\text{záclona}} = 0,85 \cdot 0,6 = 0,5$$

Světlení okna (rovnoměrný rozptyl):

$$M = E \cdot \tau = 187 \cdot 0,5 = 93,5 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$$

Jas okna:

$$L = \frac{M}{\pi} = \frac{93,5}{\pi} = 29,8 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$$

Světelný tok okna vyzařující do všech směrů:

$$M = \frac{\Phi}{S} \rightarrow \Phi = M \cdot S$$

$$\Phi = M \cdot S = 93,5 \cdot 2,4 = 224,4 \text{lm}$$

Světelný tok okna vyzařující do horního poloprostoru:Přímá složka:

$$\Phi_{ULR} = \frac{\Phi}{2} = \frac{224,4}{2} = 112,2 \text{lm}$$

Přímá + odražená složka:

Odražená složka \rightarrow 10% z přímé složky světelného toku

$$\Phi_{UPF} = \Phi_{ULR} + \Phi_{ULR} \cdot 0,1 = 112,2 + 112,2 \cdot 0,1 = 123,4 \text{lm}$$

Konstanta pro světelný tok okna směřující do horního poloprostoru:

$$K = \frac{\Phi_{UPF}}{\sum \Phi_{SV}} = \frac{\Phi_{UPF}}{\text{svítidla} \cdot \text{zářivky} \cdot \Phi_Z \cdot \eta_{SV}} = \frac{123,4}{4 \cdot 2 \cdot 3350 \cdot 0,587} = 0,0078$$

Světelný tok vyzářený do horního poloprostoru daným oknem navržené místnosti s osvětleností 300lx je přibližně roven 123,4lm. Emitovaný světelný tok zahrnuje přímou i odraženou složku světelného toku. Konstanta pro světelný tok okna směřující do horního poloprostoru je rovna 0,0078. Konstantou K je možné zjistit přibližnou hodnotu vyzářené energie okna do atmosféry pro jakýkoli výkon světelného zdroje nebo svítidla v místnosti. Konstanta platí pro rovnoměrný rozptylovač. Upozorňuji, že se jedná o hrubý odhad. Ve výpočtech konstanty může hrát roli spoustu dalších faktorů ovlivňujících světelný tok směřující z okna nahoru.

Výpočet energetických ztrát okna do horního poloprostoru pro ČR (hrubý odhad):**Celkový výkon:**

Výkon dvou kompaktních zářivek: 2x20W

$$P = 40W \rightarrow W = 40Wh = 0,04kWh$$

Energie okna vyzářená do horního poloprostoru:

$$W_{UPF} = P \cdot K = 0,04 \cdot 0,0078 = 0,312 \cdot 10^{-3} kWh$$

Cena energie okna vyzářená do horního poloprostoru:

$$\text{cena} = W_{UPF} \cdot \text{tarif} = 0,312 \cdot 10^{-3} \cdot 4,5 = 0,0014 \text{Kč/hod}$$

Vysoký tarif elektrické energie pro ČR činí 4,5Kč/kWh

Předpoklad, že okno svítí 5 hodin denně:

$$cena = 0,0014 \cdot 5 = 0,007 \text{ Kč/den}$$

Předpoklad jednoho okna na jednoho člověka pro ČR (10,2 mil. obyvatel):

$$cena = 0,007 \cdot 10,2 \cdot 10^6 = 71400 \text{ Kč/den}$$

$$cena = 71400 \cdot 365 = 26,061 \text{ mil. Kč/rok}$$

Pro výpočet ceny energetických ztrát okna svítícího do horního poloprostoru pro ČR je použito dvou kompaktních zářivek o výkonu 2x20W. Energie vyzářená oknem do horního poloprostoru dvou žárovek je $0,312 \cdot 10^{-3}$ kWh. Cena této energie činí 0,0014Kč/hod. Pro výpočet ceny energie vyzářené oknem nahoru pro celou ČR je předpokládáno, že okno svítí 5hodin denně a počet svítících oken v ČR je 10,2 mil. (jedno okno na jednoho člověka). Za těchto předpokladů je cena elektrické energie vyzářujících oken do atmosféry v ČR rovna přibližně 26 mil. Kč za rok. Ovšem výsledná hodnota je pouze orientační. Jedná se o hrubý odhad!

4.6 Hodnocení projevů rušivého světla

4.6.1 Hodnocení závojevého jasu oblohy

Závojevý jas je hodnocen relativními metodami. Limitní hodnoty pro měření jasu noční oblohy nebyly dosud stanoveny. Při měření je nutné zohlednit meteorologické parametry ovzduší, jelikož je závojevý jas ovlivněn atmosférickými podmínkami.

Způsoby měření relativní změny závojevého jasu:

1. Fotografické měření **klasickým nebo digitálním fotoaparátem**. Z fotografického snímku se určí stupeň šedi pozadí, popř. je porovnán počet exponovaných hvězd. Nevýhodou této metody měření je možnost ovlivnění náhodným světlem dopadajícím do pozorované oblasti nebo posunem jasných hvězd v pozorované oblasti.
2. Měření astronomickými metodami pomocí **CCD kamery**, která buď porovnává stupeň šedi pozadí, nebo počet exponovaných hvězd. Tento způsob měření je založen na stejném principu jako v případě fotografického měření s rozdílem vyšší přesnosti.
3. Satelitní pozorování noční oblohy. Toto měření je založeno na získávání dat ze **satelitního systému DMSP** (Defense Meteorological Satellite Program) pro měření světelného toku v horním poloprostoru.

4.6.2 Hodnocení oslnění ve venkovním osvětlení

4.6.2.1 Hodnocení oslnění u silničních komunikací podle ČSN EN 36 400

Oslnění je hodnoceno dvěma způsoby:

- Stanovením příslušného stupně oslnění podle omezení svítivosti svítidel v rozsahu polorovin C0 až C15 a C165 až C180. Tento způsob hodnocení oslnění se používá ve většině případů
- Stanovením stupně oslnění podle relativního zvýšení prahu rozlišitelnosti K_r .

$$K_r = 65 \cdot \frac{L_V}{L_P^{0,8}} \quad [\%]$$

L_V ... ekvivalentní závojevý jas [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$],

L_P ... průměrný jas povrchu vozovky [$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$]. [1]

$$L_V = \sum_{i=1}^n L_{Vi} \quad [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}]$$

L_{Vi} ... závojevý jas způsobený i-tým svítidlem [1]

$$L_{Vi} = 3 \cdot \frac{E_i}{v_i^2} \cdot 10^{-3} \quad [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}]$$

E_i ... intenzita osvětlení roviny kolmé ke směru pohledu v místě oka pozorovatele vyvolaná i-tým svítidlem [lx],

v_i ... úhel mezi směrem pohledu a směrem svítivosti vstupující do oka pozorovatele [rad],

n ... počet svítidel. [1]

Tab. 8 Stupeň omezení oslnění na silničních komunikacích [1]

Stupeň oslnění	Maximální svítivost v polorovinách C0 až C15 a C165 až C180 v úhlu		Relativní zvýšení prahu rozlišení K_r při	
	$\gamma = 90^\circ$	$\gamma = 180^\circ$	světlém okolí	tmavém okolí
1	10 cd na 1000 lm max. 500 cd	30 cd na 1000 lm max. 1000 cd	10%	10%
2	50 cd na 1000 lm max. 1000 cd	100 cd na 1000 lm max. 2000 cd	20%	10%

4.6.2.2 Hodnocení oslnění u silničních komunikací podle ČSN EN 132001

Při hodnocení se vychází z **Prahového přírůstku (TI)**, což je měřítko ztráty viditelnosti způsobené omezujícím oslněním svítidly pozemních komunikací.

$$TI = \frac{65}{(\text{průměrný jas vozovky})} \cdot L_V \quad [\%]$$

$$L_V = 10 \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\theta_k^2} = \frac{E_1}{\theta_1^2} + \frac{E_2}{\theta_2^2} + \dots + \frac{E_k}{\theta_k^2} + \frac{E_n}{\theta_n^2} \quad [cd \cdot m^{-2}]$$

TI ... prahový přírůstek,

E_k ... osvětlenost způsobená k-tým světlem,

θ_k ... úhel svírající směr pohledu a přímkou vedoucí od pozorovatele ke středu k-tého svítidla

n ... počet svítidel. [1]

4.6.2.3 Třídy činitele oslnění

Existuje šest tříd (D0 až D6) pro omezení rušivého oslnění.

$$GR = I \cdot A^{-0.5} \quad [cd \cdot m^{-2}]$$

GR ... činitel oslnění,

I ... největší hodnota svítivosti v libovolném směru pod úhlem 85° měřeném od vertikály zdola,

A ... zdánlivá plocha svítící části svítidla v rovině kolmé ke směru I. [1]

Tab. 9 Třídy činitele oslnění [1]

Třída	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Nejvyšší hodnota činitele oslnění	-	7000	5500	4000	2000	1000	500

4.6.3 Hodnocení světelného přesahu

Pro hodnocení světelného přesahu způsobujícího pronikání světelného toku do oken budov existují doporučené limity osvětlenosti oken a maximální dovolené hodnoty jasů fasád budov, které jsou uvedeny níže.

4.7 Mezinárodní doporučení

Mezinárodní komise pro osvětlování vytvořila ve spolupráci s Mezinárodní astronomickou unií a Mezinárodní společností pro temné nebe Směrnici pro minimalizaci záře oblohy. Tato směrnice obsahuje limitní hodnoty podílu světelného toku do horního poloprostoru pro jednotlivé zóny prostředí E1 až E4 z hlediska astronomického pozorování.

Tab. 10 Největší povolený podíl světelného toku svítidel do horního poloprostoru [1]

Zóna	Podíl světelného toku svítidel do horního poloprostoru v %
E1	0
E2	≤ 5
E3	≤ 15
E4	≤ 25

Definice jednotlivých zón:

E1 oblast se skutečně tmavým prostředím, (národní parky),

E2 oblast s nízkými jasy (venkovské obytné oblasti s nízkými stupni osvětlení komunikací),

E3 oblast se středně nízkými jasy (městské obytné oblasti),

E4 oblast s vysokými jasy (městské oblasti se zvýšenou noční aktivitou). [1]

Tab. 11 Limity rušivého světla [2]

LIMITY RUŠIVÉHO SVĚTLA (SVĚTELNÉHO ZNEČIŠTĚNÍ)							
Zóna	Podíl světelného toku svítidel do horního poloprostoru ULR [%]	Maximální svislá osvětlenost okolních nemovitostí (především v rovině oken obytných budov, součet od všech osvětlovacích soustav) E_v[lx]		Maximální svítivost svítidel v navrhovaných směrech I [cd]		Jas fasád budov L [cd.m⁻²]	Jas reklamních zařízení L [cd.m⁻²]
		před policejní hodinou	po policejní hodině	před policejní hodinou	po policejní hodině	před policejní hodinou i po ní (průměrná hodnota)	
E1	≤ 0	≤ 2	0*	≤ 2500	0**	0	≤ 50
E2	≤ 5	≤ 5	≤ 1	≤ 7500	≤ 500	≤ 5	≤ 400
E3	≤ 15	≤ 10	≤ 5	≤ 10000	≤ 1000	≤ 10	≤ 800
E4	≤ 25	≤ 25	≤ 10	≤ 25000	≤ 2500	≤ 25	≤ 1000
<p>ULR = poměr světelného toku dopadajícího na vodorovnou rovinu těsně nad svítidlem v provozní poloze, k celkovému světelnému toku svítidla</p> <p>* v případě svítidel osvětlení veřejných komunikací platí hodnota ≤ 1 lx</p> <p>** v případě svítidel osvětlení veřejných (pozemních) komunikací platí hodnota ≤ 500 cd</p> <p>Pozn.: Pojem „policejní hodina“ není v ČR zaveden. Můžeme jej chápat jako začátek období nočního klidu (např. od 22:00 do 6:00).</p>							

Tab. 12 Maximální hodnoty osvětlenosti na nemovitostech vlivem veřejného osvětlení [1]

Světelně technická veličina	Podmínky použitelnosti	Zóna			
		E1	E2	E3	E4
Vertikální Osvětlenost (Ev)	Mezní hodnoty platí pro rovinu oken obytných místností příbytků, které směřují k silničním komunikacím.	1 lx	1 lx	5 lx	10 lx

Tab. 13 Maximální hodnoty poměrného neužitečného světelného toku v horním poloprostoru [1]

Světelně technická veličina	Podmínky použitelnosti	Zóna			
		E1	E2	E3	E4
poměrný neužitečný světelný výkon v horním poloprostoru (ULR)	Podíl světelného toku, který je vyzařován nad vodorovnou rovinu proloženou svítidlem namontovaným v provozní poloze, vůči celkovému světelnému toku.	0	0,05	0,15	0,25

4.8 Prostředky omezující projevy rušivého světla

Omezení rušivého světla způsobující závojevý jas oblohy, oslnění a světelný přesah dosáhneme těmito způsoby:

- nerealizovat osvětlení tam, kde není nutné,
- správný návrh, provoz a údržba osvětlovací soustavy,
- vypínáním a regulací osvětlovacích soustav,
- vhodnou instalací a nasměrováním svítidel,
- změnou optických vlastností prostoru,
- vlivem umělých a přírodních bariér. [1]

4.8.1 Správný návrh, provoz a údržba osvětlovací soustavy

Správně vypracovaný projekt osvětlení by měl mít optimálně navržen:

- světelný zdroj,
- typ svítidla,
- montážní výšky,
- délku a sklon výložníku,
- rozmístění a počet sloupů osvětlení,
- zohlednění stávajících nebo sousedících osvětlovacích soustav,
- zohlednění dalších prvků, které jsou významné z hlediska dané lokality. [1]

4.8.2 Vypínání a regulace osvětlovacích soustav

Dalším způsobem, jak omezit rušivé světlo je regulací, popř. vypínáním osvětlovacích soustav.

Vypínání veřejného osvětlení

Vypínat veřejné osvětlení lze třemi způsoby:

- vypnout všechny svítidla VO,
- provozovat osvětlení pouze na kritických místech,
- vypnout polovinu svítidel VO.

Nejméně nebezpečnou a zároveň nejúspornější variantou je vypnutí **všech světel VO**. Způsob je nejbezpečnější z pohledu dopravy, kdy oko řidiče se adaptuje na tmou. Ovšem nevýhodou této metody vypínání svítidel je nárůst kriminality v místech bez osvětlení, proto tento způsob nelze doporučit.

Dalším způsobem je **provoz osvětlení pouze na kritických místech**. Světla se ponechají rozsvícená pouze na důležitých místech jako přechod pro chodce, křižovatky, atd. Jedná se taktéž o nebezpečný způsob, protože oko řidiče se nestačí rychle adaptovat na rozličné jasové podmínky.

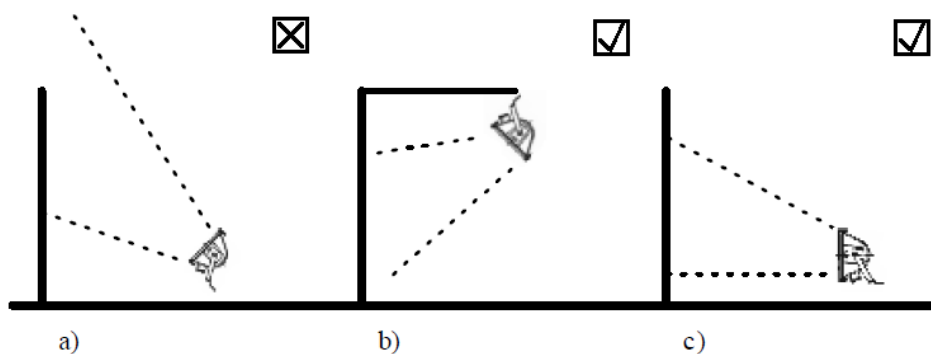
Posledním způsobem je **vypnutí každého druhého svítidla („ob stožár“)**. Je to nejhorší způsob řešení, jelikož oko se musí neustále přizpůsobovat na světlo a pak okamžitě na tmou.

Regulace veřejného osvětlení

Regulace světelného výkonu je přijatelnější variantou, než vypínání veřejného osvětlení. Snížením světelného toku nenastávají taková rizika, jako v případě vypínání osvětlovacích soustav, protože oko řidiče se nemusí stále adaptovat na různé jasy. Regulace světelného toku se provádí buď změnou napětí napájecí sítě, což vyvolá změnu světelného toku zdroje, nebo je svítidlo osazeno regulačním prvkem a ovládá se programově po nastavení v každém svítidle zvlášť, nebo jsou dálkově ovládány.

4.8.3 Doporučená instalace a nasměrování svítidel

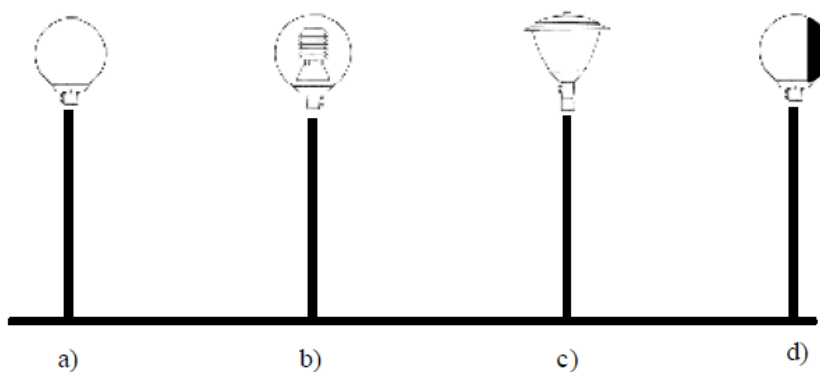
1) K osvětlování svislých a vodorovných ploch se doporučuje směřovat světelný tok svítidel přímo dolů, nebo alespoň přímo na osvětlovaný objekt. Pokud to není technicky možné, používají se svítidla s clonami.



Obr. 25 Instalace a nasměrování svítidel [1]

- a) světelný tok směřovaný vzhůru,
- b) světelný tok směřovaný dolů,
- c) světelný tok směřovaný přímo na osvětlovaný objekt.

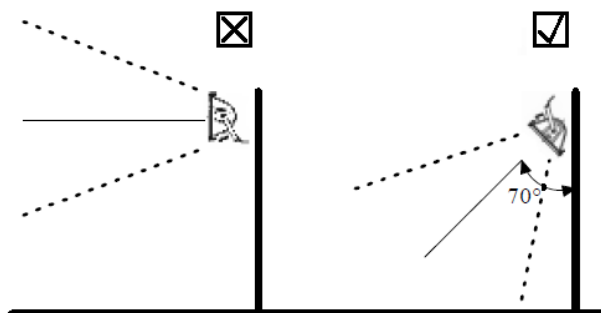
2) Doporučuje se používat zařízení, která omezují distribuci světelného toku do horního poloprostoru.



Obr. 26 Omezení distribuce světelného toku do horního poloprostoru technickými prostředky [1]

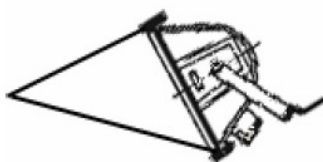
- a) svítidlo bez clony vyzařuje do horního poloprostoru 60% světelného toku a způsobuje oslnění
- b) svítidlo vybavené prstencovou clonou proti oslnování
- c) svítidlo s vrchlíkem omezujícím distribuci světelného toku do horního poloprostoru
- d) svítidlo vybavené clonou zamezující šíření světla nežádoucím směrem

3) Pro omezení oslnění je důležité, aby hlavní paprsek svítidla neměl **elevační úhel** větší než 70° . Čím výše je svítidlo umístěno, tím menší elevační úhel je zapotřebí.



Obr. 27 Velikost elevačního úhlu [1]

4) Přednostně se používají světlomety s asymetrickými výstupními paprsky, které mají možnost nastavení krycího skla rovnoběžně s osvětlovanou plochou.



Obr. 28 Světlomet se speciálním směrovačem světelného toku [1]

5) Použitím fyzických zábran je možno omezit distribuci světelného toku přesahující hranici místa, které chceme osvětlit. Využívají se přírodní zábrany, jako např. křoví nebo umělé v podobě plotu atd.

4.8.4 Optické vlastnosti daného prostoru

Různá prostředí mají vliv na dráhu světelného toku. Omezit rozptýlený světelný tok šířící se do horního poloprostoru je možno těmito způsoby:

- Použitím vhodného krytí – Použitím krytí IP 65 až IP 67 se zamezí vniknutí nečistot do optické části svítidla, které se usazují na optickém krytu a mají za následek menší rozptyl světelného toku.
- Volbou vhodného povrchu osvětlované oblasti – Nejlepší variantou je povrch s difúzními vlastnostmi, tedy povrch tmavý, nelesklý.
- Čistotou vzduchu v osvětlované oblasti – Světelný tok se odráží nevhodným směrem při obsahu nečistot ve vzduchu.

[1] [2] [9] [10] [12]

5 Měření rušivých účinků venkovních osvětlovacích soustav

Měření rušivých účinků osvětlovacích soustav je zaměřeno na světelný přesah způsobující okolními svítidly. Pro vyhodnocování světelného přesahu na přilehlých fasádách budov byl použit jasový analyzátor LMK2000.

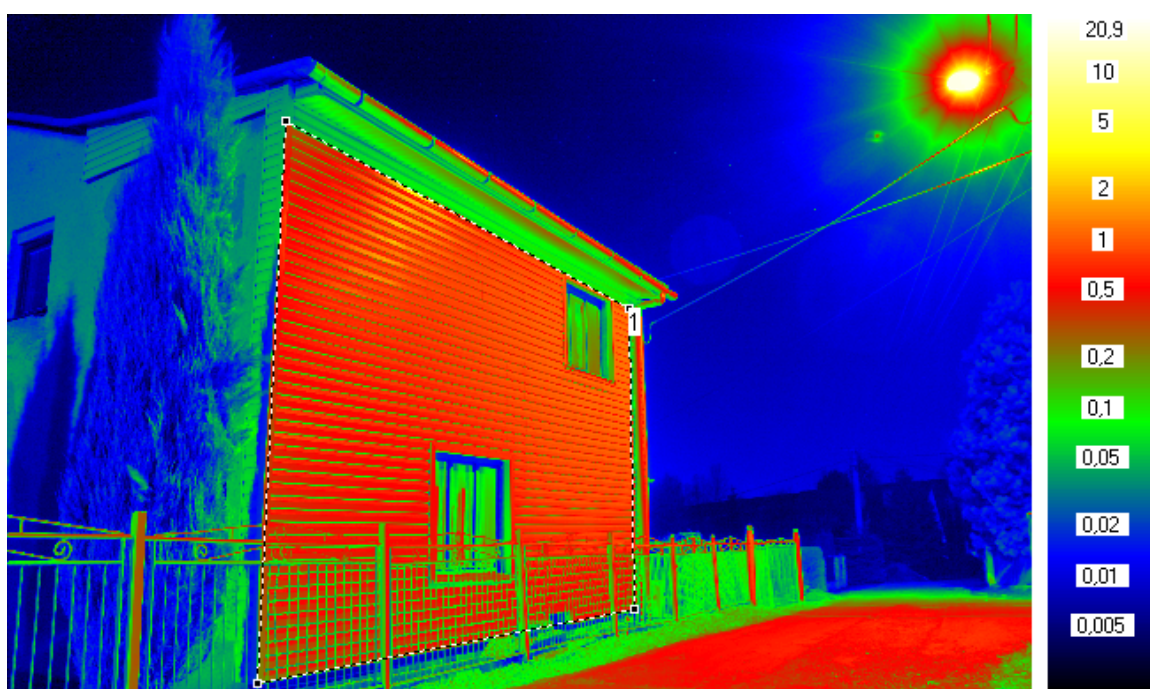
Místa pro měření jasu fasád budov byla vybírána podle největších rušivých účinků osvětlovacích soustav. Další místa byla zvolena pro názorný příklad šíření světelného toku svítidla do prostoru.



Obr. 29 Jasová analýza svítidla typu koule

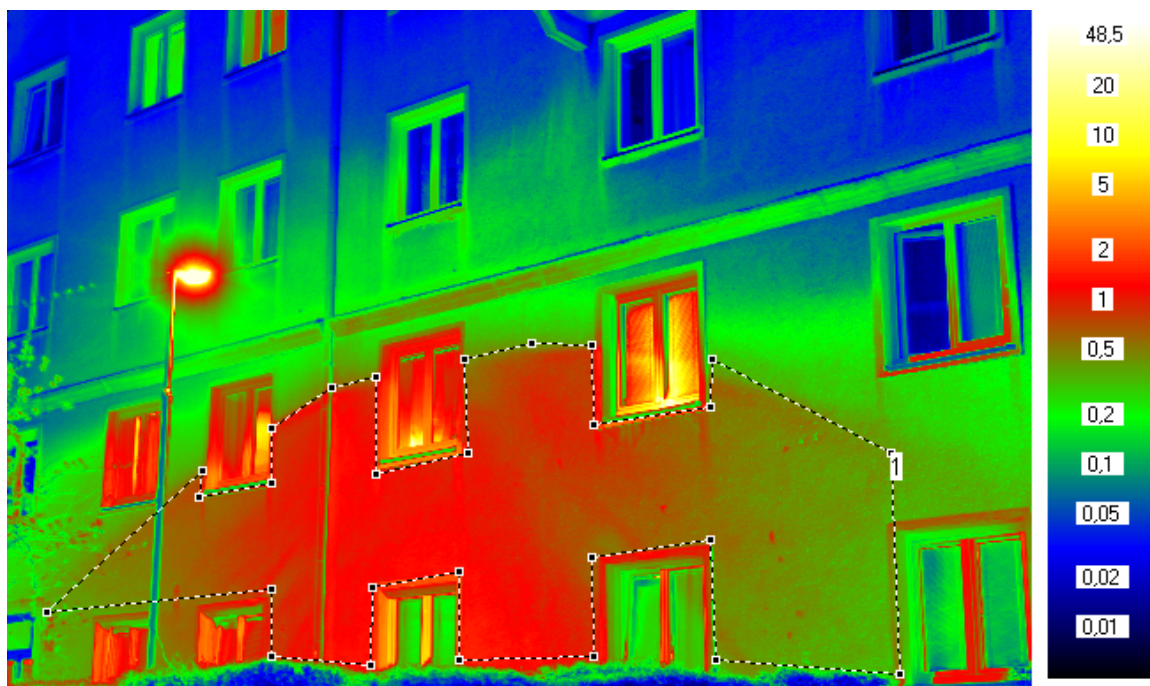


Obr. 30 Jasová analýza svítidla s prstencovou clonou a vrchlíkem



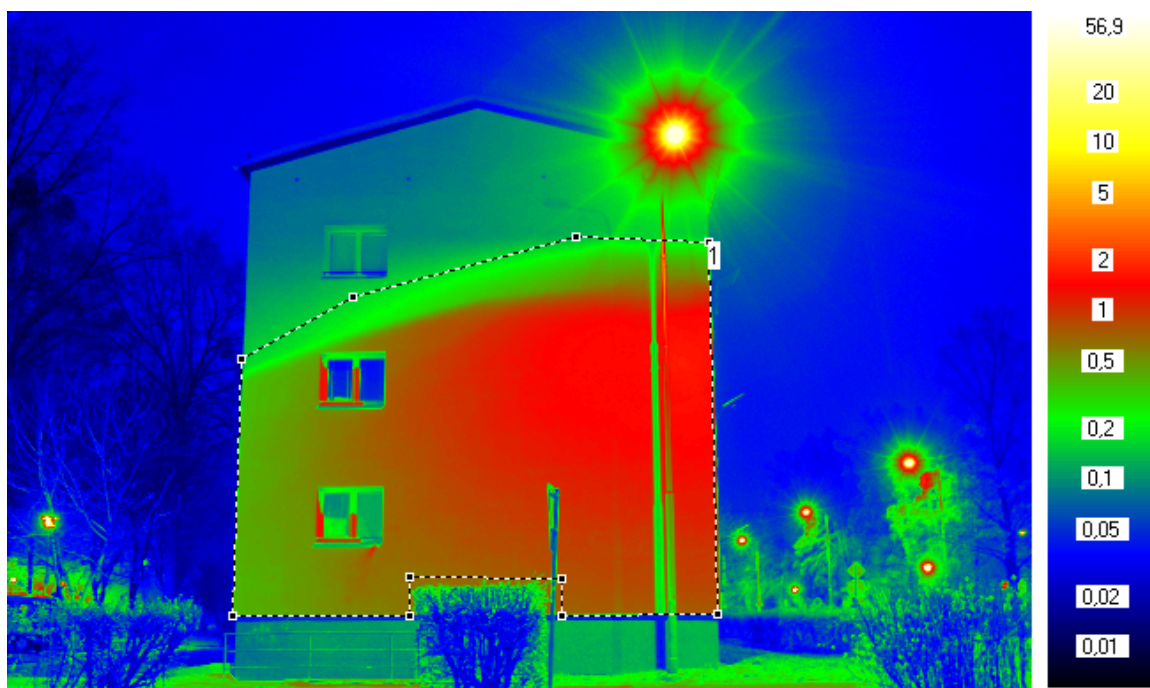
Obr. 31 Jasová analýza fasády budovy

No.	Source	Reg.	Class.	Unit	Count	Mean	Disp.	Min	Max	Area
1	Luminance image	1	Default	L-cd/m ²	449700	0,5776	0,3421	0,007782	3,922	449700



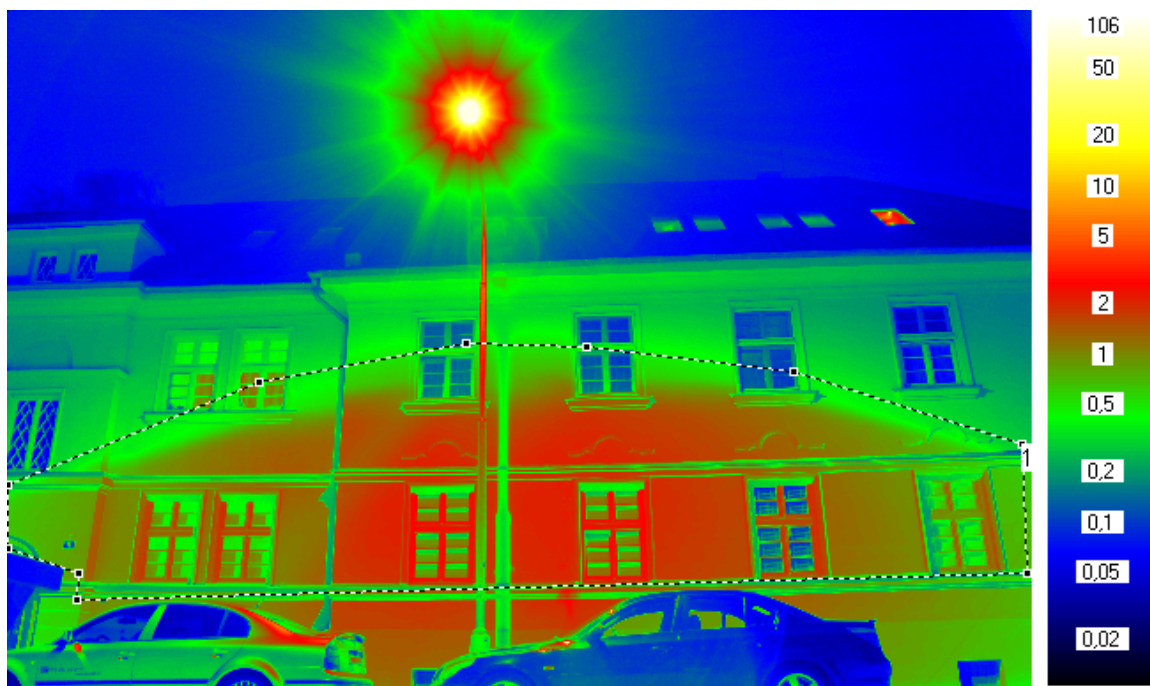
Obr. 32 Jasová analýza fasády budovy

No.	Source	Reg.	Class.	Unit	Count	Mean	Disp.	Min	Max	Area
1	Luminance image	1	Default	L-cd/m ²	454400	0,7966	0,3395	0,06844	3,575	454400



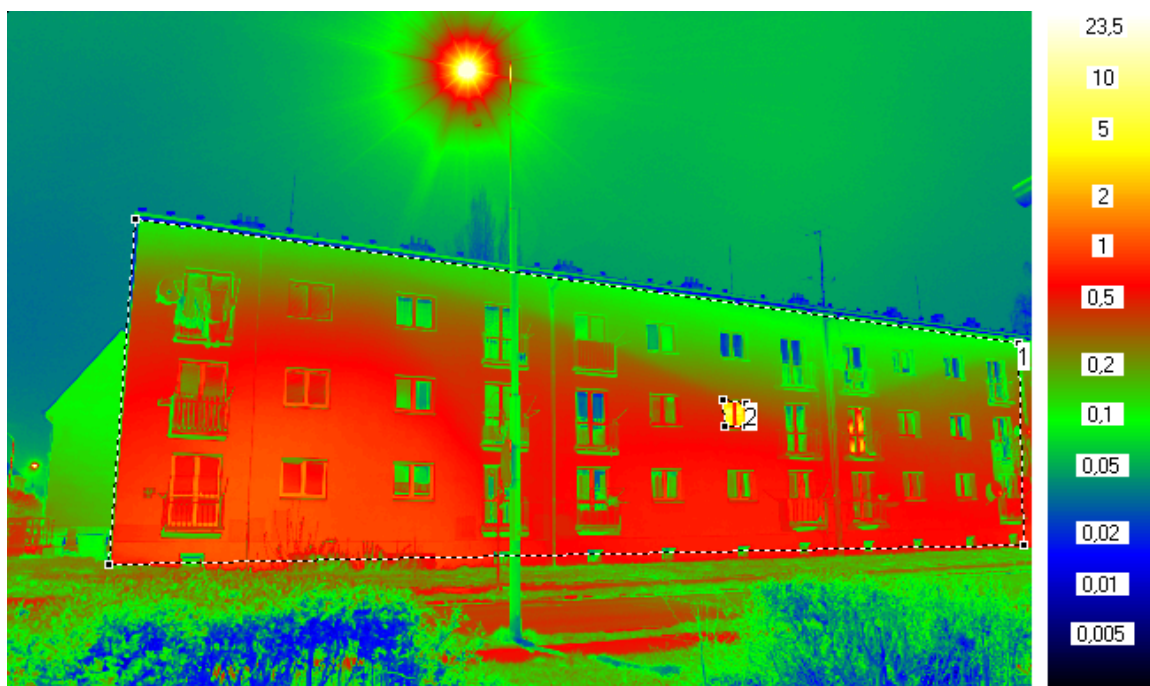
Obr. 33 Jasová analýza fasády budovy

No.	Source	Reg.	Class.	Unit	Count	Mean	Disp.	Min	Max	Area
1	Luminance image	1	Default	L-cd/m ²	450800	0,8343	0,4402	0,01575	4,621	450800



Obr. 34 Jasová analýza fasády budovy

No.	Source	Reg.	Class.	Unit	Count	Mean	Disp.	Min	Max	Area
1	Luminance image	1	Default	L-cd/m ²	576200	1,124	0,6335	0,0741	5,178	576200



Obr. 35 Jasová analýza fasády a okna budovy

No.	Source	Reg.	Class.	Unit	Count	Mean	Disp.	Min	Max	Area
1	Luminance image	1	Default	L-cd/m ²	708500	0,4892	0,3531	0,0132	9,286	708500
2	Luminance image	2	Default	L-cd/m ²	1536	3,342	1,839	0,4197	9,286	1536

6 Vyhodnocení naměřených dat

Fotografie pro jasovou analýzu na Obr. 29 svítidla typu koule byla pořízena ve městě Ostrava - Poruba. Tento snímek složí pro názornou demonstraci šíření světelného toku do prostoru. Na pozadí korun stromů lze vidět, že světlo tohoto typu svítidla se šíří všemi směry.

Jasová analýza Obr.30 byla pořízena ve městě Ostrava – Hrabůvka. Jedná o svítidlo vybavené prstencovou clonou proti oslňování a vrchlíkem omezujícím distribuci světelného toku do horního poloprostoru. Na snímku lze pozorovat, že se světelný tok tohoto svítidla šíří pouze pod vodorovnou rovinu zdroje svítidla a jas fasády budovy je omezen prstencovou clonou.

Snímek pro jasovou analýzu svítidla s vysokotlakou sodíkovou výbojkou na Obr.31 byl pořízen v obci Mosty u Jablunkova. Tato vesnice se nachází v zóně E2 v oblasti s nízkými jasy. Tato zóna platí pro venkovské obytné oblasti s nízkými stupni osvětlení komunikací. Pro tuto oblast nesmí průměrný jas fasád budov přesahovat hodnotu $5\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$, viz Tab.11. Naměřená průměrná hodnota jasu budovy je $0,58\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$, což je přípustná hodnota. Osvětlení komunikace tedy splňuje stanovené podmínky.

Jasová analýza na Obr.32 svítidla s vysokotlakou sodíkovou výbojkou byl pořízen ve městě Ostrava – Poruba. Tato část města se nachází v zóně E3, což je oblast se středně nízkými jasy např. pro městské obytné oblasti. Naměřená průměrná hodnota jasu fasády městské budovy je $0,79\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Limitní hodnota jasu fasády budovy $10\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ pro oblast E3 není překročena.

Na Obr.33 jasové analýzy fasády budovy v Ostravě – Hrabůvce je naměřena průměrná hodnota jasu $L = 0,83\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Jedná se o stožárové svítidlo vybavené vysokotlakou sodíkovou výbojkou. Toto svítidlo se nachází v městské zóně E3 s maximem jasu fasády budovy $10\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Svítidlo rovněž splňuje podmínky zóny E3.

Snímek jasové analýzy fasády budovy na Obr.34 byl pořízen v Ostravě – Hrabůvce. Tato městská část patří rovněž do oblasti zóny E3. Fasáda budovy je osvětlena stožárovým svítidlem se sodíkovou vysokotlakou výbojkou. Naměřený průměrný jas fasády je $1,12\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$, což je nejvíce ze všech měření, ale jas budovy zdaleka nepřesáhl limitní hodnotu průměrného jasu zóny E3. Na fotografii lze rovněž pozorovat rozložení svítivosti svítidla.

Na snímku Obr. 35 stožárového svítidla s vysokotlakou sodíkovou výbojkou je naměřená hodnota průměrného jasu fasády $0,49\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Tento snímek slouží pro názornost možného vnesení chyby do měření za přispění cizího zdroje záření. Při ohraničení fasády budovy v programu LMK2000 musíme dbát na to, aby v měřené oblasti nebyl zahrnut cizí zdroj záření, jako je např. rozsvícené okno. Maximální hodnota jasu na ohraničené části fasády budovy (1) je $9,286\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Tato hodnota se shoduje s naměřenou oblastí (2) okna budovy.

7 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo seznámit se s rušivými účinky venkovních osvětlovacích soustav. V teoretické části jsou popsány vlastnosti a parametry světelných zdrojů a svítidel pro venkovní osvětlovací soustavy, dále rozbor venkovních osvětlovacích soustav a jednotlivé rušivé účinky osvětlovacích soustav.

Prvním cílem bylo spočítat průměrný jas nad městem Ostrava v nočních hodinách podle vztahu uvedeného v knize Light Pollution Handbook. Vzorec je použit pro vzdálenost měření 10km od města a podle počtu obyvatel města jsem odvodil průměrnou hodnotu světelného toku do horního poloprostoru na osobu. Výsledná hodnota průměrného jasu oblohy nad městem odpovídá teoretickým předpokladům. Daný vztah ovšem lze použít pouze pro orientační výpočet. Nejpřesnějším způsobem zjištění závoje jasu oblohy nad městem je měření.

Dalším přínosem je orientační výpočet ceny elektrické energie vyzářené do horního poloprostoru za rok pro Českou republiku a Nizozemí. Pro Českou republiku je spočítána cena emitované energie pouze pro přímou složku světelného toku ze svítidel VO. Z publikace Light Pollution Handbook jsem zjistil celkovou energii vyzářenou do atmosféry pro stát Nizozemí a pro jejich tarifní cenu spočítal cenu elektrické energie vyzářené do horního poloprostoru za rok.

Významným tématem bakalářské práce je výpočet energetických ztrát okna. Pro výpočet udržované osvětlenosti okna navržené místnosti bylo použito programu ReluxPro. Příslušný návrh místnosti je uveden v příloze. Z udržované osvětlenosti je spočítáno světlení okna a následně světelný tok vyzařující oknem do horního poloprostoru (v úvahu je brána i odražená složka). Dále je vypočítána konstanta K, s kterou je možno vynásobit celkový výkon světelných zdrojů, nebo svítidel v místnosti a zjistit tak energii vyzářenou těmito zdroji oknem do atmosféry. Nakonec je uveden výpočet ceny energetických ztrát okna do horního poloprostoru dvou kompaktních zářivek pro celou Českou republiku s úvahou, že jedno okno svítí přibližně 5 hodin denně a počet svítících oken v ČR je přibližně jedno na osobu. Celkově je ale výpočet energetických ztrát okna hrubým odhadem, sloužícím spíše pro představu.

Praktická část se zabývá měřením rušivých účinků venkovních osvětlovacích soustav, konkrétně se zaměřením na světelný přesah způsobující svítidly VO. Pomocí jasového analyzátoru LMK2000 byl vyhodnocován světelný přesah na fasádách budov. První dva snímky slouží pro názornost šíření světla do prostoru. Další snímky vyhodnocují průměrný jas fasád budov se začleněním do určité zóny, která udává maximální hodnotou průměrného jasu fasády. Žádné z měření nepřekročilo dovolené limity rušivého světla.

Použitá literatura:

- [1] SOKANSKÝ, K. a kolektiv: Racionalizace v osvětlování venkovních prostor. Ostrava: Česká společnost pro osvětlování, 2005.
Dostupné z: <http://csorsostrava.cz/publikace/racionalizace%20-%202005.pdf>
- [2] SOKANSKÝ, K. a kolektiv: Dominantní vlivy ovlivňující spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav. Ostrava: Česká společnost pro osvětlování, 2007.
Dostupné z: http://csorsostrava.cz/publikace/dominantni_vlivy_2007.pdf
- [3] SOKANSKÝ, K. a kolektiv: Metodické pokyny pro obnovu, provoz a údržbu veřejného osvětlení. Ostrava: Česká společnost pro osvětlování, 2008.
Dostupné z: http://csorsostrava.cz/publikace/Metodicke_pokyny_pro_obnovu,_provoz_a_udrzbu_verejneho_osvetleni.pdf
- [4] Zářivky; dostupné z: http://www.elkomplex.cz/eshop/index.php?main_page=popup_image&pID=23685
- [5] LED diody; dostupné z: http://lhotsky-elektro.kabel1.cz/info/LED-10_X_C.jpg
- [6] Úhel clonění; dostupné z: http://www.mti.tul.cz/files/eloA/11-pr_EST_Svitidla.pdf
- [7] Venkovní osvětlení, část Elektrické světlo; dostupné z: http://feil.vsb.cz/kat410/studium/f_studium.htm
- [8] SOKANSKÝ, K. a kolektiv: Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení v ČR. Ostrava: Česká společnost pro osvětlování, 2007.
Dostupné z: http://csorsostrava.cz/publikace/Potencial_energetickych_uspor_VO_v_CR.pdf
- [9] CELMA Guide on obtrusive light, First edition – June 2007 [cit. 2011-26-02]
- [10] Kohei Narisada, Duco Schreuder: Light Pollution Handbook
- [11] Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku;
dostupné z: <http://www.energetik.cz/vyuziti/images/osv06.gif>
- [12] Město Ostrava; dostupné z: <http://www.rapgroupp.cz/pdf/ostrava.pdf>
- [13] Normy pro osvětlování pozemních komunikací, ČSN EN 13201 (36 0455), duben 2006

Seznam obrázků:

<i>Obr. 1 Schématické rozdělení světelných zdrojů [1]</i>	2
<i>Obr. 2 Lineární zářivka [4]</i>	4
<i>Obr. 3 Kompaktní zářivka se spektrální charakteristikou [2]</i>	5
<i>Obr. 4 Složení kompaktní zářivky s elektronickým předřadníkem [1]</i>	6
<i>Obr. 5 Vysokotlaká sodíková výbojka se spektrální charakteristikou [2]</i>	6
<i>Obr. 6 Nízkotlaká sodíková výbojka se spektrální charakteristikou [2]</i>	7
<i>Obr. 7 Vysokotlaká rtuťová výbojka se spektrální charakteristikou [2]</i>	8
<i>Obr. 8 Halogenidová výbojka [2]</i>	8
<i>Obr. 9 LED dioda [5]</i>	9
<i>Obr. 10 Křivky svítivosti ve fotometrických systémech A-α, B-β, C-γ [2]</i>	11
<i>Obr. 11 Úhel clonění svítidla [6]</i>	12
<i>Obr. 12 Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku [11]</i>	14
<i>Obr. 13 Osobní osvětlovací soustava veřejného osvětlení [2]</i>	21
<i>Obr. 14 Jednostranná osvětlovací soustava veřejného osvětlení [8]</i>	21
<i>Obr. 15 Oboustranná vystřídaná osvětlovací soustava [8]</i>	22
<i>Obr. 16 Oboustranná párová osvětlovací soustava [8]</i>	22
<i>Obr. 17 Osvětlovací soustava veřejného osvětlení na směrově rozdělené komunikaci [8]</i>	23
<i>Obr. 18 Osvětlení přechodu pro chodce [3]</i>	24
<i>Obr. 19 Vznik různých forem rušivého světla ve venkovním prostředí [1]</i>	25
<i>Obr. 20 Rozptyl světla na částicích a vznik závojevého jasu [1]</i>	26
<i>Obr. 21 Distribuce světla veřejného osvětlení [9]</i>	28
<i>Obr. 22 Veřejné osvětlení: příspěvek závojevého jasu [9]</i>	29
<i>Obr. 23 Měření jasu noční oblohy města</i>	30
<i>Obr. 24 Světelný tok šířící se oknem</i>	35
<i>Obr. 25 Instalace a nasměrování svítidel [1]</i>	44
<i>Obr. 26 Omezení distribuce světelného toku do horního poloprostoru technickými prostředky [1]</i>	44
<i>Obr. 27 Velikost elevačního úhlu [1]</i>	45
<i>Obr. 28 Světlomet se speciálním směrovačem světelného toku [1]</i>	45
<i>Obr. 29 Jasová analýza svítidla typu koule</i>	46
<i>Obr. 30 Jasová analýza svítidla s prstencovou clonou a vrchlíkem</i>	47
<i>Obr. 31 Jasová analýza fasády budovy</i>	47
<i>Obr. 32 Jasová analýza fasády budovy</i>	48
<i>Obr. 33 Jasová analýza fasády budovy</i>	48
<i>Obr. 34 Jasová analýza fasády budovy</i>	49
<i>Obr. 35 Jasová analýza fasády a okna budovy</i>	49

Seznam tabulek:

<i>Tab. 1 Rozdělení svítidel podle rozložení světelného toku</i>	<i>13</i>
<i>Tab. 2 Význam číslic pro krytí IP [1]</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 3 Modelová situace [13]</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 4 Vztah mezi populací a světelným tokem vyzářeným do horního poloprostoru[10]</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 5 Vztah mezi populací a světelným tokem vyzářeným do horního poloprostoru pro Ostravu</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 6 Energie vyzářená do horního poloprostoru pro několik měst [10]</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 7 Celková energie ztracená "do prostoru" v Nizozemí [10]</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 8 Stupeň omezení oslnění na silničních komunikacích [1]</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 9 Třídy činitele oslnění [1]</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 10 Největší povolený podíl světelného toku svítidel do horního poloprostoru [1]</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 11 Limity rušivého světla [2]</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 12 Maximální hodnoty osvětlenosti na nemovitostech vlivem veřejného osvětlení [1]</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 13 Maximální hodnoty poměrného neúčinného světelného toku v horním poloprostoru [1]</i>	<i>41</i>

Příloha:

Obývací pokoj

Popis : Místnost 5x5m

Číslo projektu : 1

Zákazník :

Vypracoval : David Wolny

Datum : 14.04.2011

Následující hodnoty vycházejí z přesných výpočtů kalibrovaných světelných zdrojů, svítidel a jejich rozmístění. V praxi se mohou projevit určité odchylky. Záruční reklamace na data svítidel jsou vyloučeny.

Relux a výrobci svítidel nepřijímají žádnou odpovědnost za následné škody a škody, které vzniknou uživateli nebo třetím stranám.

Objekt : Obývací pokoj
Popis : Místnost 5x5m
Číslo projektu : 1
Datum : 14.04.2011

1 Údaje o svítidle

1.1 Systemtechnik, EURO II SM/SA (7095 1501)

1.1.1 Specifikace svítidla

Výrobce: Systemtechnik

7095 1501 Deckenleuchte EURO II SM/SA

EURO II SM/SA 236 IP20, ENEC, VDE

Raster-Anbauleuchte

Stabiler Leuchtenkörper aus Stahlblech, weiß lackiert mit abgeschrägten Kanten.

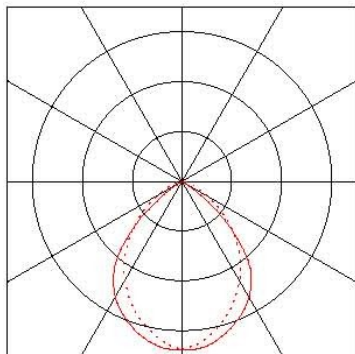
Aluminium-Spiegelraster mit Querlamellen, stufenförmig profiliert.

Údaje o svítidle

Účinnost svítidla : 58.7%
Luminaire efficacy : 54.62 lm/W
Classification : A50 100.0% ↑0.0%
CIE Flux Codes : 67 95 99 100 59
Předřadník : VVG inuktiv, mit Starter
Celkový příkon systému : 72 W
Délka : 1250 mm
Šířka : 312 mm
Výška : 100 mm

Osazeno

Počet : 2
Označení : FD-Ř26
Výkon : 36 W
Barva : nw/4000K
Světelný tok : 3350 lm



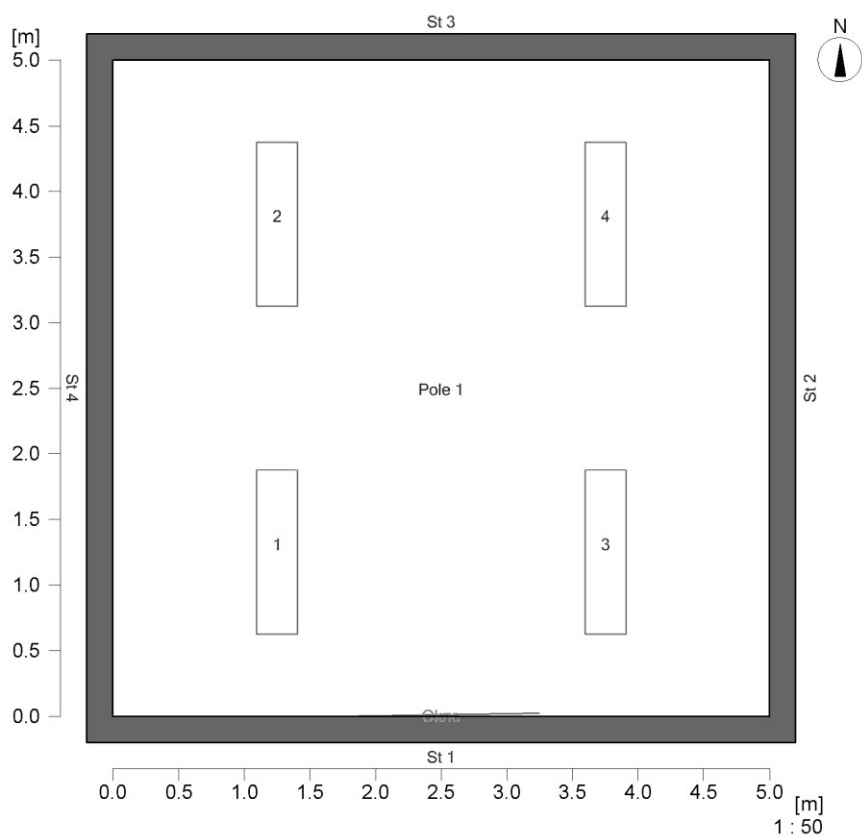
**Technische Daten,
Abmessungen, Gewichte
usw. siehe Katalog.**

Objekt : Obývací pokoj
Popis : Místnost 5x5m
Číslo projektu : 1
Datum : 14.04.2011

2 Prostor 1

2.1 Popis, Prostor 1

2.1.1 Půdorys



Údaje o prostoru:

W1 : 5.00
W2 : 5.00
W3 : 5.00
W4 : 5.00
W5 : ----
W6 : ----

Podlaha: ----
Strop: ----

Výška místnosti [m]:

Výška srovnávací roviny [m]:

Výška roviny svítidel [m]:

Činitelé odrazu:

50.0 %
50.0 %
50.0 %
50.0 %

20.0 %
70.0 %

2.80

2.80

Konstrukční prvky

Pi : Pilíř

Př : Přička

Pp : Reálná pracovní plocha

m : Virtuální měřicí plocha

Sv : Světlík

Ob : Obráz

Ok : Okno

D : Dveře

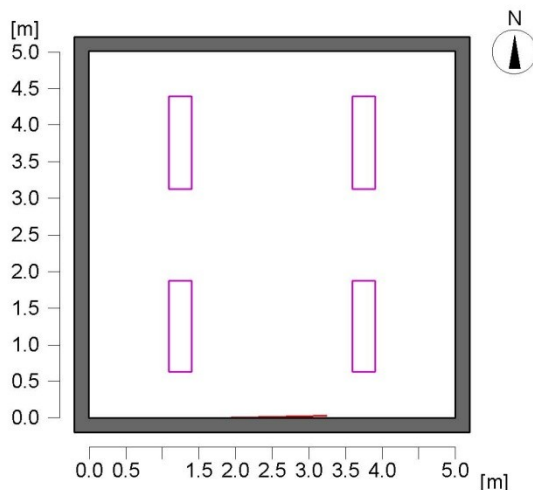
Ná : Nábytek

Objekt : Obývací pokoj
 Popis : Místnost 5x5m
 Číslo projektu : 1
 Datum : 14.04.2011

2 Prostor 1

2.2 Přehled výsledků, Prostor 1

2.2.1 Přehled výsledků, Okno



Obecně

Použitý algoritmus výpočtu	centrální podíl nepřímé složky
Výška roviny svítidel	2.80 m
Udržovací činitel	0.80
Celkový světelný tok všech zdrojů	26800 lm
Celkový výkon	288 W
Celkový výkon na ploše (25.00 m ²)	11.52 W/m ²

Intenzity osvětlení

Udržovaná osvětlenost	Em	187 lx
Minimální osvětlenost	Emin	88 lx
Maximální osvětlenost	Emax	235 lx
Rovnoměrnost g1	Emin/Em	1:2.12 (0.47)
Rovnoměrnost g2	Emin/Emax	1:2.67 (0.37)

Typ Č. výrobce

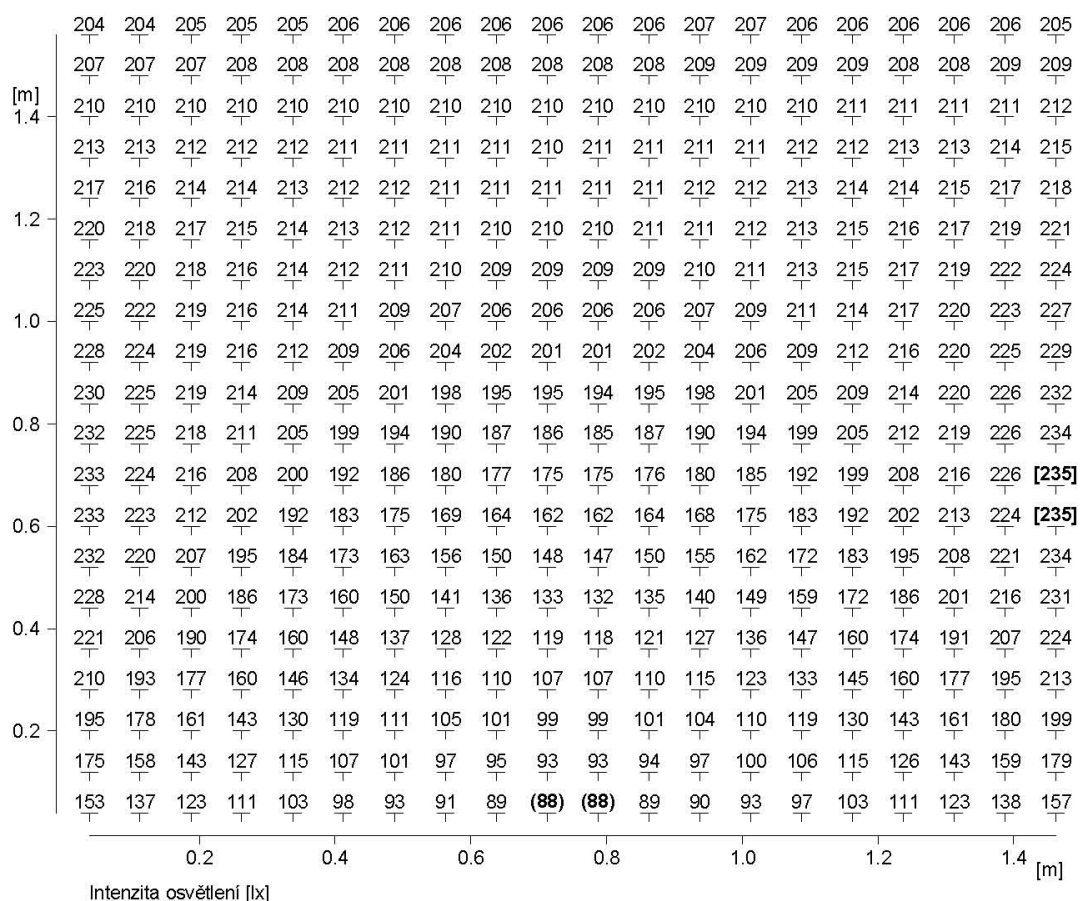
1	4	Systemtechnik
		Objednací č. : 7095 1501
		Název svítidla : EURO II SM/SA
		Osazení : 2 x FD-Ř26 36 W / 3350 lm

Objekt : Obývací pokoj
 Popis : Místnost 5x5m
 Číslo projektu : 1
 Datum : 14.04.2011

2 Prostor 1

2.3 Výsledky výpočtu, Prostor 1

2.3.1 Tabulka, Okno (E)



Udržovaná osvětlenost	Em	: 187 lx
Minimální osvětlenost	Emin	: 88 lx
Maximální osvětlenost	Emax	: 235 lx
Rovnoměrnost g1	Emin/Em	: 1 : 2.12 (0.47)
Rovnoměrnost g2	Emin/Emax	: 1 : 2.67 (0.37)